

**ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN  
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT  
INSTITUT N**

**Resiliente heimische krautige Baumscheibenunterpflanzungen im urbanen Raum**

Bachelorarbeit

von  
Marc Lötscher  
Bachelorstudiengang 2017  
Abgabedatum 14.01.2021  
Umweltingenieurwissenschaften

Fachkorrektor:

Heinrich, Axel  
Saluz, Andrea Gion  
Hertig, Tal

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften,  
Campus Grüntal, 8820 Wädenswil

## **Impressum**

Zitiervorschlag:

Lötscher M., (2020). Resiliente heimische krautige Baumscheibenunterpflanzungen im urbanen Raum. Bachelorarbeit. Wädenswil: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

Schlagworte:

Baumunterpflanzung, Bodentemperatur, Oberflächentemperatur, Baumscheiben, Stadtbäume

Keywords:

tree underplanting, soil temperature, surface temperature, tree slicing, urban trees.

ZHAW

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Life Science und Facility Management

Grüntal

CH-8820 Wädenswil

## **Zusammenfassung**

Im Zuge einer Sanierung der Langensteinenstrasse wurden mehrere sogenannten Zukunftsbäume in acht Baumscheiben ohne mineralische Mulchschicht und in acht Baumscheiben mit mineralischer Mulchschicht unterschiedlicher Mächtigkeit gepflanzt. Als Baumunterpflanzung wurden heimische resiliente, krautige Pflanzen verwendet. Diese Pflanzungen haben neben der gestalterisch-ästhetischen und ökologischen Funktion zum Ziel, das Mikroklima zu verbessern und die Stressfaktoren von Strassenbäumen wie Hitze, Wasserhaushalt und Bodenverdichtung zu minimieren.

Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob der Deckungsgrad einen Einfluss auf die Boden- und Oberflächentemperatur hat, ob es Unterschiede in der Entwicklung der Boden- und Oberflächentemperatur in den unterschiedlichen Baumscheibentypen gibt und ob es in den unterschiedlichen Baumscheibentypen Unterschiede in der Vegetationsentwicklung gibt. Dazu wurden zwei Baumscheiben mit einer 10 cm mächtigen mineralischen Mulchschicht und zwei Baumscheiben ohne Mulchschicht untersucht. Es wurden dabei die Bodentemperatur in 30 cm Tiefe gemessen, der Deckungsgrad erhoben und die Oberflächentemperatur mit einer Wärmebildkamera aufgenommen und analysiert.

Die Auswertung der Daten zeigte, dass es in der Bodentemperatur Unterschiede von 2.5 °C zwischen den beiden Baumscheibentypen gibt. Der Deckungsgrad hat einen statistisch relevanten Einfluss auf die Bodentemperatur. Bei der aktuellen Entwicklung der Vegetation, besitzen aber der Wasserhaushalt und die Lufttemperatur einen grösseren Einfluss auf die Bodentemperatur. Unklar ist, in welchem Baumscheibentyp sich die Vegetation besser entwickelt, da vor allem die unterschiedliche Bewirtschaftung der Baumscheiben und die Tatsache, dass die Baumscheiben bereits mit einer mineralischen Mulchschicht bepflanzt wurden das Resultat verfälschen.

Die Oberflächentemperatur hat einen statistisch relevanten Unterschied gezeigt, welcher aber in der Praxis mit 0.94°C im Mittel kaum relevant ist. Bei der Analyse nicht berücksichtigt wurde, dass die Baumscheibentypen unterschiedlich grosse vegetationsfreie Flächen haben und dies das Ergebnis verfälscht.

Es zeigte sich, dass der Wasserhaushalt einen entscheidenden Einfluss auf die Bodentemperatur besitzt. Dieser könnte positiv beeinflusst werden, in dem eine sich schnell schliessende Pflanzendecke etabliert würde, die dann ihrerseits einen positiven Effekt auf die Oberflächentemperatur haben könnte. Dort wo keine Pflanzen geplant oder gepflanzt wurden, kommt der Spontanvegetation eine wichtige Rolle zu.

## **Abstract**

In the course of a redevelopment of Langensteinenstrasse, several so called future trees were planted in eight tree discs without mineral mulch layer and in eight tree discs with mineral mulch layer of different thickness. Native resilient herbaceous plants were used as tree underplanting. The aim of this underplanting, in addition to the design aesthetic and ecological function, is to improve the microclimate and minimize the stress factors of street trees such as heat, water balance and soil compaction.

The aim of this work is to find out if the degree of cover has an influence on the soil and surface temperature, if there are differences in the development of soil and surface temperature in the different types of tree discs and if there are differences in the development of vegetation in the different types of tree discs. For this purpose, two tree discs with a 10 cm thick mineral mulch layer and two tree discs without a mulch layer were investigated. The soil temperature was measured at a depth of 30 cm, the degree of cover was determined, and the surface temperature was recorded and analyzed with a thermal imaging camera.

The analysis of the data showed that there were differences of 2.5 °C in soil temperature between the two types of tree discs. The degree of cover has a statistically relevant influence on the soil temperature. However, given the current development of the vegetation, the water balance and the air temperature have a greater influence on the soil temperature. It is unclear in which type of tree disc the vegetation develops better, because mainly the different management of the tree discs and the fact that the tree discs were already planted with a mineral mulch layer distort the result.

The surface temperature showed a statistically relevant difference, which, however, is hardly relevant in practice with 0.94°C on average. The analysis did not take into account that the tree slice types have different sizes of vegetation-free areas and that this distorts the result.

It was shown that the water balance has a decisive influence on the soil temperature. This could be positively influenced by establishing a rapidly closing plant cover, which in turn could have a positive effect on the surface temperature. Where no plants were planned, spontaneous vegetation plays an important role.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>7</b>
1.1	ZIELSETZUNG .....	8
1.2	FORSCHUNGSFRAGEN .....	8
1.3	AUFBAU DER ARBEIT.....	8
<b>2</b>	<b>AUSGANGSLAGE .....</b>	<b>9</b>
2.1	MIKROKLIMA ZÜRICH .....	9
2.1.1	<i>Klimadiagramm Zürich: Normwerte</i> .....	9
2.1.2	<i>Klimadiagramm Zürich: Jahresverlauf</i> .....	10
2.2	TESTFLÄCHE .....	11
2.3	KURZBESCHRIEB DER STRASSENBÄUME.....	13
2.3.1	<i>Eucommia ulmoides</i> .....	13
2.3.2	<i>Acer rubrum 'sommerset'</i> .....	13
2.4	SUBSTRATAUFBAU.....	14
2.5	STAUDENPFLANZUNG.....	14
<b>3</b>	<b>THEORIETEIL .....</b>	<b>18</b>
3.1	BODENTEMPERATUR.....	18
3.2	BODENTEMPERATUR UND PFLANZENDECKUNG .....	19
3.3	WURZELN UND BODENTEMPERATUR .....	20
3.4	BODENTEMPERATUR UND NÄHRSTOFFAUFNAHME.....	21
3.5	PFLANZEN UND HITZE .....	22
3.6	BODENVERDICHTUNG .....	23
3.7	VEGETATION UND STREU .....	23
<b>4</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>25</b>
4.1	DATENERHEBUNG/BONITUR .....	25
4.2	ANALYSE UND DATENAUSWERTUNG .....	26
4.3	ZEITLICHER ABLAUF DER DATENERHEBUNG.....	27
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG .....</b>	<b>46</b>
	Literaturverzeichnis .....	48
	Abbildungsverzeichnis.....	52
	Tabellenverzeichnis.....	54

Anhang A..... 56

Anhang B..... 59

Anhang C ..... 71

Anhang D ..... 76

Anhang E..... 77

Anhang F..... 85

Anhang G ..... 89

Poster ..... 90

## 1 Einleitung

Die gängige Praxis bei der Erhaltung der Baumvitalität beschränkt sich in erster Linie auf den Baum selbst. Der Standort ist dabei oftmals sekundär, muss an viele andere Planungsentscheidungen angepasst werden und wird oft erst in Betracht gezogen, wenn deutliche Vitalitätseinbussen am Baum sichtbar sind.

Neben dem hohen Nutzungsdruck, der auf die Baumscheibe einwirkt, ist die Grösse dieser oft auf ein Minimum reduziert.

Damit der Baum sich in der Stadt trotzdem optimal entwickeln kann, ist eine Minimierung von Stressfaktoren wie Wasserhaushalt, Hitze und Bodenverdichtung entscheidend.

Um den genannten Stressfaktoren entgegenzuwirken, werden die Baumscheiben immer häufiger begrünt.

Mit heimischen, resilienten, krautigen Pflanzen könnten diese Stressfaktoren reduziert werden. Diese Pflanzen können neben gestalterisch-ästhetischen auch ökologische und ingenieurbologische Funktionen erfüllen. Sie steigern die Biodiversität in der Stadt, minimieren die Feinstaub- und Pollenbelastung und verbessern das Mikroklima (Bouillon, 2013).

Eine weitere Möglichkeit, Stressfaktoren zu minimieren, besteht darin, eine mineralische Mulchschicht als Draufbereich aufzubringen und diese mit Stauden zu bepflanzen. Dies wird in Zürich erstmalig in einem Versuch mit Grünstadt Zürich und der ZHAW Wädenswil in der Langensteinenstrasse angewendet. Dabei soll die mineralische Mulchschicht die Bodenverdichtung reduzieren und die Wasserleitung in die Tiefe beschleunigen, was zu einem besseren Wasserhaushalt führen soll. Die Stauden beschatten den Boden und sollen ein zu schnelles Verdunsten der Bodenfeuchte verhindern. Weiter könnte die Strahlungseinwirkung auf den Boden und auf den Stamm des Baumes reduziert werden, sowie die Temperatur im und auf dem Boden konstanter gehalten werden. Die Stauden könnten neben ökologischen und ästhetischen Aspekten auch den Nutzungsdruck auf die Baumscheibe verringern, indem sie ein Begehen und Beladen der Baumscheibe durch ihre Präsenz verhindern. Dazu ist jedoch auch eine schnelle Etablierung der Pflanzen und das Erreichen eines hohen Deckungsgrades wichtig.

Der Einfluss des Deckungsgrades und der mineralischen Mulchschicht auf die Temperaturentwicklung im und auf dem Boden, sowie auf die Entwicklung des Deckungsgrades soll in dieser Arbeit in einem Feldversuch untersucht werden. Dabei dient die Arbeit als Grundlage für die Frage, wie geschlossene Vegetationssysteme bei Baumscheiben nach dem Vorbild des Agroforstes wissenschaftlich untersucht werden können.

Hierbei werden vier Baumscheiben untersucht. Zwei Baumscheiben sind mit einer mineralischen Mulchschicht versehen und bei zwei Baumscheiben bildet das verwendete Zürcher Baums substrat mit einer grossen Gitterabdeckung den Abschluss des Draufbereiches.

Bei diesen Baumscheiben wird an sechs verschiedenen Punkten die Bodentemperatur von Mitte Juni bis Mitte September gemessen. Mit einer Wärmebildkamera wird die Bodentemperaturen des Draufbereiches erfasst und ausgewertet. Mit der Braun-Planquet-Methode wird der Deckungsgrad in zwei Settings ermittelt. Die Aufgabenstellung ist in Anhang A ersichtlich.

### **1.1 Zielsetzung**

Die Thesis lautet, dass sich die Baumunterpflanzung in den Baumscheiben mit Mulch sich besser entwickelt und dadurch die Temperaturentwicklung im Substrat und auf dem Draufbereich geringer ist.

Ziel ist es nun herauszufinden, ob eine mineralische Mulchschicht mit Staudenunterpflanzung im Vergleich mit Baumscheiben ohne mineralische Mulchschicht einen Einfluss auf die Bodentemperatur und auf die Temperaturentwicklung der Substratoberfläche und auf den Deckungsgrad hat und dadurch die Stressfaktoren Wasserhaushalt, sowie Hitzeabstrahlung und Bodentemperatur für den Baum reduziert werden können.

### **1.2 Forschungsfragen**

In Bezug auf die Ausgangslage an der Langensteinstrasse in Zürich ergeben sich folgende Fragen:

- Gibt es im Zürcher Baumsubstrat in 30 cm Tiefe eine unterschiedliche Temperaturentwicklung zwischen den Baumscheiben mit mineralischer Mulchschicht und ohne Gitterabdeckung und den Baumscheiben ohne mineralischer Mulchschicht und mit Gitterabdeckung?
- Gibt es eine unterschiedliche Temperaturentwicklung des Draufbereichs zwischen den Baumscheiben mit mineralischer Mulchschicht und ohne Gitterabdeckung und den Baumscheiben ohne mineralischer Mulchschicht und mit Gitterabdeckung?
- Hat der Deckungsgrad der Vegetation einen Einfluss auf die Bodentemperatur in 30 cm Tiefe und auf die Oberflächentemperatur des Draufbereichs?
- Gibt es einen Unterschied in der Vegetationsentwicklung im Zürcher Baumsubstrat mit mineralischer Mulchschicht und ohne mineralischer Mulchschicht?

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Nachfolgend wird die Ausgangslage an der Langensteinstrasse in Zürich in Hinblick auf die Testfläche, die Stauden, sowie das Gehölz und der Substrataufbau dargestellt. Nachfolgend werden im Theorieteil die Mechanismen der Bodentemperaturentwicklung und ihr Einfluss auf das Wurzelwachstum, sowie die Reaktion der Pflanzen auf die Hitze beschrieben. Danach wird die Methode der Datenerhebung vorgestellt und anschliessend die Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

## 2 Ausgangslage

### 2.1 Mikroklima Zürich

Das Stadtklima von Zürich wird von den Faktoren «Grosswetterlage» und «lokale Gegebenheiten» bestimmt. Daraus resultiert das lokale Klima. Die Temperatur ist deutlich höher als jene des Umlandes. Aufgrund der gespeicherten Wärme in Beton und Asphalt, aber auch in der Erde selbst, ist die Temperatur rund 6 °C wärmer als im Umland. Zudem verhindert eine hohe Bebauungsdichte mit ungünstiger Lage eine Durchlüftung der Stadt (Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ, 2011).

#### 2.1.1 Klimadiagramm Zürich: Normwerte

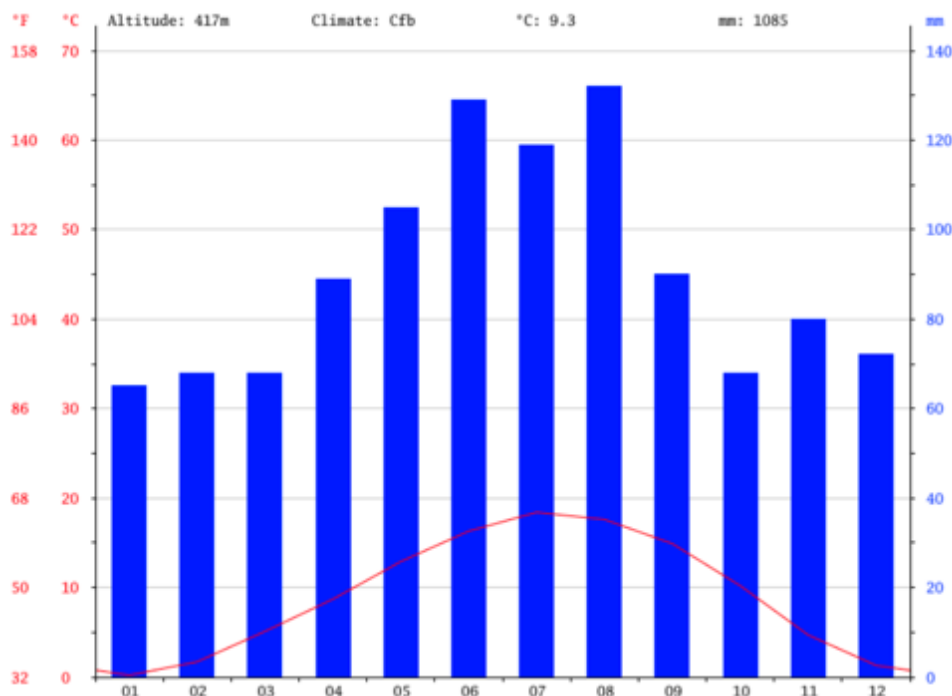


Abb. 1 Normwertklimadiagramm von Zürich. Die blauen Balken zeigen Niederschlagsmenge pro Monat und die rote Linie zeigt den Temperaturverlauf des Tagesmittels (Merkel, 2020)

Das Klimadiagramm in Abbildung 1 veranschaulicht die zur Planung von Vegetationssystemen wichtigen Parameter Niederschlagsmenge, Niederschlagsverteilung und Temperaturverlauf. Dabei handelt es sich um Normmittelwerte von Zürich. Das Diagramm ist repräsentativ für das Klima der Testfläche in der Langensteinenstrasse in Zürich.

Das Mittel der jährlichen Niederschlagsmenge beträgt 1085 mm. Die Regenfälle sind relativ gleichmässig über das Jahr verteilt, die meisten Niederschläge fallen jedoch im Sommer. Beim Cfb-Klima liegen die vier wärmsten Monate über dem 10 °C -Mittel, der wärmste Monat aber unter 22 °C. Der kälteste Monat liegt im Mittel über dem Gefrierpunkt. Somit wird das Klima von Zürich zum Ozeanenklima gezählt (Köppen, 2011).

### 2.1.2 Klimadiagramm Zürich: Jahresverlauf

Das Klimadiagramm im Jahresverlauf von Zürich/Fluntern (Abb. 2) zeigt, dass der Januar und Februar über dem durchschnittlichen Tagesmittel (schwarze Linie) von 1981-2010 lagen. Teilweise überstiegen die durchschnittlichen Tagestemperaturen gar das Maximum der durchschnittlichen Tagestemperaturen von 1864-2019. Dies war ebenso Ende Juli der Fall. Generell gab es in jedem Monat Abschnitte, wo die durchschnittlichen Tagestemperaturen, die Standardabweichung der Norm von 1981-2010 überschritten.

Ende März hingegen, sanken die Temperaturen unter die Standardabweichung von 1981-2010. Dasselbe gilt für Mitte Mai, anfangs Juni und August, sowie Mitte September. Es fällt auf, dass die Abweichungen deutlich waren und die Temperaturen öfter höher als tiefer. zu Warm waren als zu kalt. Und auch deutlich von der Standardabweichung abweichen. Diese Feststellung wird auch von der Tagesumme der Sonnenscheindauer unterstrichen. Die Norm ist 1589.8 h, die Jahressumme hingegen beträgt 2018.5 h. Gleichzeitig sank die Summe des Niederschlages auf 992.2 mm. Hier liegt die Norm bei 1133.5 mm.

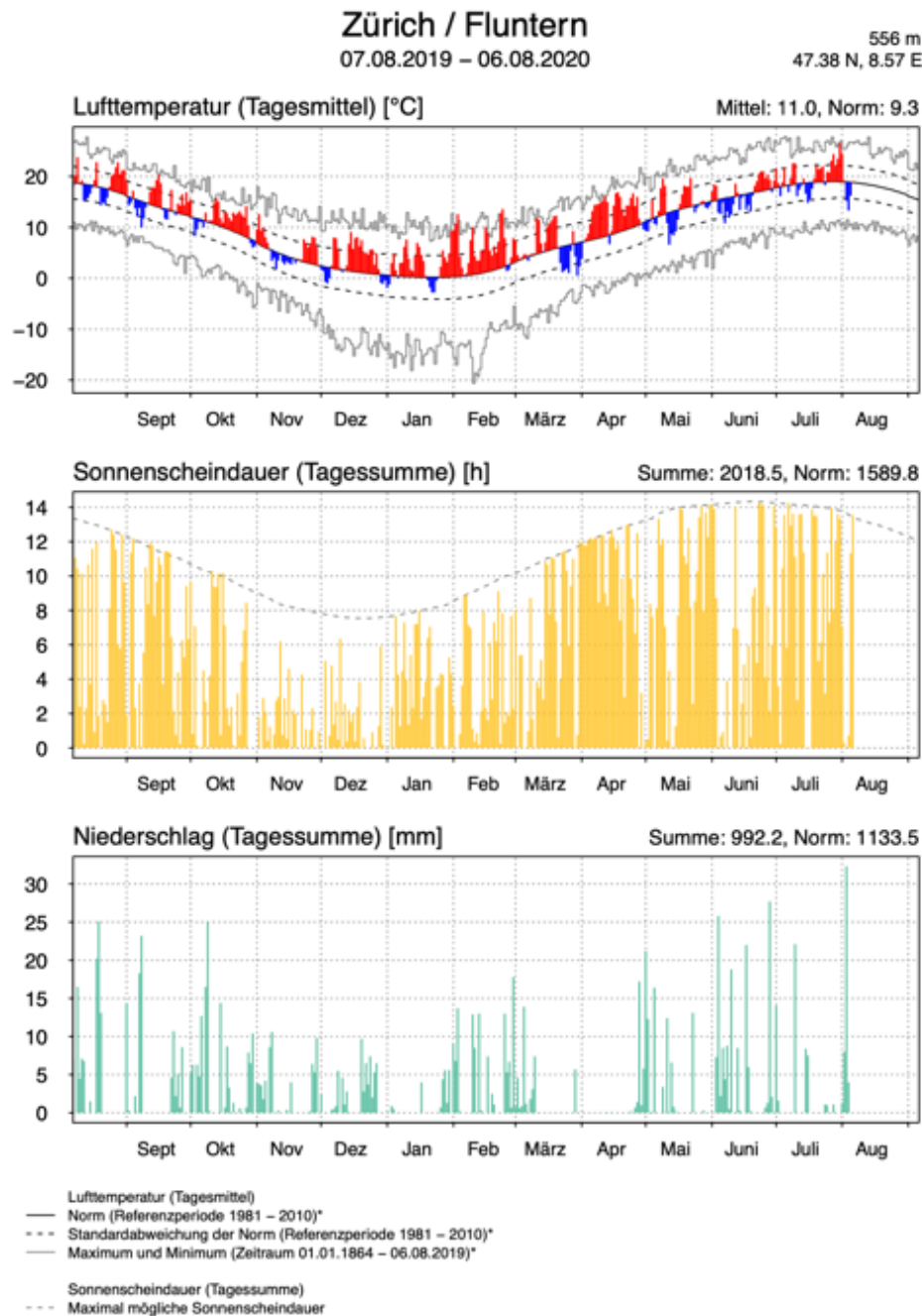


Abb. 2 Das erste Klimadiagramm zeigt den Jahresverlauf der mittleren täglichen Lufttemperatur in Grad. Die roten Werte liegen über den Normwerten von 1981-2010, die blauen unterhalb. Das Diagramm in der Mitte zeigt die täglichen Sonnenscheindauer und das unterste die Niederschlagssumme (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz, 2020)

## 2.2 Testfläche

Die Langensteinenstrasse befindet sich in Nord-Süd-Richtung, in einem für Zürich wenig verkehrsbelasteten Wohnquartier (siehe Anhang D).

Im Osten grenzt die Strasse an einen Freiraum der Universität Zürich, im Westen und im Süden sind Einfamilienhäuser mit entsprechender Begrünung. Am nördlichen Ende befindet sich der Irchelpark.

Die Baumscheiben wurden im Zuge einer Sanierung der Strasse nach TED-Norm 18.05 und 18.06 aus dem Jahr 2020 neu gebaut.

Bei acht Baumscheiben bildet das Verwendete "Zürcherbaumsubstrat" den Draufbereich. Jeweils acht der restlichen Baumscheiben haben eine mineralische Mulchschicht (0/16 mm) mit einer Mächtigkeit von 5 cm, 10 cm und 15 cm.

Die verwendeten Bäume sind sogenannte Zukunftsbäume, die an das Klima der Stadt angepasst sind und in der Gegend von Würzburg/DE verwendet werden (LWG, 2019). Das Klimadiagramm von Würzburg in Abbildung 3 zeigt die dortigen klimatischen Verhältnisse.

### KLIMADIAGRAMM FÜR WÜRZBURG

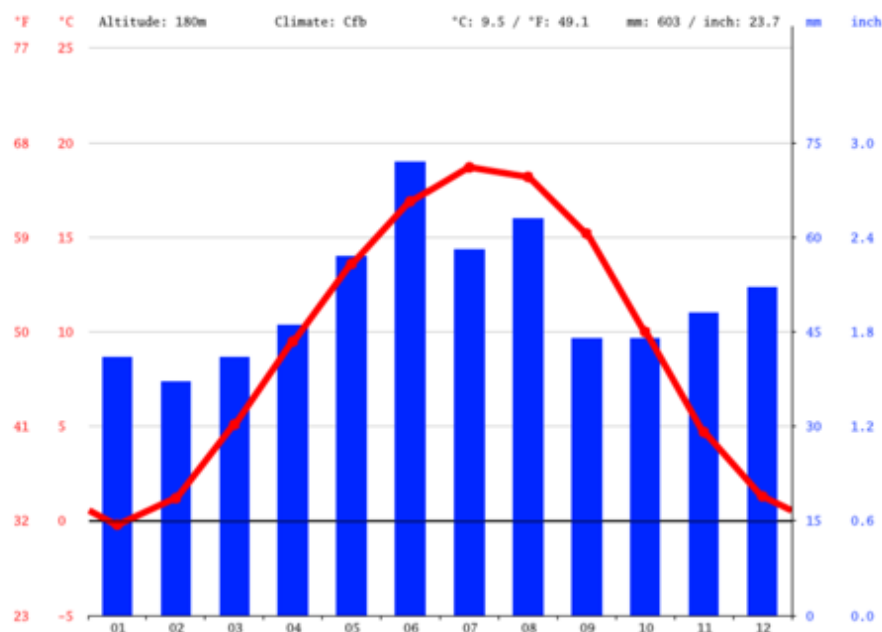


Abb. 3 Klimadiagramm von Würzburg (Climate-Data, 2020)

Die Bäume in den Testflächen sind *Eucommia ulmoides* (Chinesischer Guttaperchabaum/Gummilulme) und *Acer rubrum* 'sommerset' (Rotahorn). Diese werden im Kapitel 2.3 näher beschrieben.

Die verwendeten Pflanzen für die Baumunterpflanzung werden in Kapitel 2.5 vorgestellt.

Die Testfläche sind vier Baumscheiben, zwei davon haben eine 10cm mächtige mineralische Mulchschicht, bei den anderen zwei Baumscheiben bildet das Zürcherbaumsubstrat und eine Gitterabdeckung den Draufbereich.

Die Baumscheiben ohne Gitterabdeckung haben eine mögliche Gesamtfläche für die Vegetation von rund 65 %, jene mit Gitterabdeckung rund 40 %. Schemata der Baumscheiben sind in Kapitel 4.1 ersichtlich.



## 2.3 Kurzbeschreibung der Strassenbäume

### 2.3.1 *Eucommia ulmoides*

Diese Baumart war vor der letzten Eiszeit auf der gesamten Nord-Halbkugel verbreitet. Aufgrund der starken Übernutzung dieser Forstpflanze, gibt es kaum noch natürliche Vorkommen (Gulde, 2020).

Die Blätter führen einen Gummisaft, welcher für die Autoreifenherstellung genutzt wird. Dies ist auch der Grund, weshalb er in China in Feldkulturen angebaut wird. Die Blätter verfärben sich im Herbst intensiv (Gulde, 2020).

Ähnlich der heimischen Ulme bildet der Baum im Herbst geflügelte Früchte, welche sich über den Wind verbreiten. Auf eine Insektenbestäubung ist die Art nicht angewiesen.

Die Rinde des Baumes wird in der Pharmaindustrie zur Bekämpfung von Tumoren verwendet (Gitto et al., 2020).

In der Jugend wächst der Baum sehr schnell und erreicht einen Jahreszuwachs von 30 bis 50 cm. Er bildet eine dicht und fast kugelrunde Krone aus und ist ein typischer Baum für den Waldrand (Missouri Botanical Garden, n.d.).

Die Baumart verträgt unsere Winter problemlos und kommt auch mit Trockenheit und Hitze im Sommer gut zurecht. Weil die Art auch selten von Schädlingen und Schadpilze befallen wird, gilt sie als sehr robust. Der Baum kommt mit fast allen Böden zurecht und benötigt einen sonnigen Standort (Gulde, 2020).

Lebensbereich von *Eucommia ulmoides* (Kiemeier, 1995):

6.3.2.3.

### 2.3.2 *Acer rubrum* 'sommerset'

Der Rot-Ahorn ist ein anpassungsfähiger Pionierbaum der in weiten Teilen Nordamerikas beheimatet ist (Gulde, 2020). Er bildet eine kegelförmige, geschlossene Krone, wächst in der Regel 5 bis 15 cm pro Jahr und bildet fein verzweigte Wurzeln (Ley & Ley, 2020).

Die frostharte Baumart benötigt durchlässige, humose und nährstoffreiche Böden an sonnigen Standorten (Hauenstein, 2020).

Dürreperioden und strenge Winter verträgt das Gehölz unbeschadet (Gulde, 2020).

Lebensbereich von *Acer rubrum* (Kiemeier, 1995):

2.3.2.3.

## 2.4 Substrataufbau

Die Bäume der Baumscheibe Nr. 8 und Nr. 10, wurden in das Zürcher Einschichtsubstrat gepflanzt. Es besteht aus 60% Humus, 30 % Kies 8/16 und 10 % Blähton 4/16, was einem Kornanteil von 40 % entspricht.

In den Baumscheiben Nr. 12 und Nr. 13 ist neben dem Zürcher Baums substrat als Abschluss eine 10 cm mächtige mineralische Mulchschicht (0/16) aufgetragen. Somit ist dort ein sogenanntes Sandwichsubstrat verbaut.

Die Mächtigkeit des Substrates aller vier Baumscheiben beträgt 100 bis 120 cm. Damit ergibt sich, aufgrund der Masse der Baumgruben, ein Gesamtvolumen von rund 7.5 m<sup>3</sup> Substrat.

## 2.5 Staudenpflanzung

Nachfolgend werden die verwendeten Stauden kurz vorgestellt und sowohl die Winterhärtezone als auch ihre Urbanität angegeben. Die Urbanität beschreibt das Verhalten von Pflanzenarten gegenüber urbanen Räumen. Entsprechend des Vorkommens bzw. Fehlens von Arten in Städten reicht die Skala von von 1 (urbanophob) bis 5 (urbanophil).

Die Informationen für das Kurzportrait stammen von Bouillon, 2013, die Angaben über die Winterhärtezone wurden der Webseite Staudenratgeber, 2020 entnommen und die Daten für die Urbanität stammen von der Datenbank BioFlor.

### *Ajuga reptans* - Kriechender Günsel

Mattenbildende, immergrüne Pflanze, welche sich gut als Bodendecker eignet. Die Pflanze breitet sich mittels kriechender Triebe aus, die bewurzeln und Jungpflanzen bilden.

Bevorzugt dauerhaft dauerfeuchte und nährhafte Böden. Gedeiht gut im Teilschatten unter Laubbäumen oder Sträucher.

Leidet an ungünstigen Standorten an Mehltau.

Urbanität: 2

Winterhärtezone 5

### *Anemone sylvestris* - Grosses Windröschen

Frühjahrsblüher, welcher gut drainierte Böden bevorzugt. Bildet Wurzel ausläufer, kann sich aber auch durch Versamung verbreiten.

Breitet sich in mildem Klima stark aus.

Urbanität: 1

Winterhärtezone 4

### *Anthericum ramosum* - Ästige Graslilie

Gedeiht gut an der Sonne und in mässig feuchten, gut durchlässigen Böden.

Oft in Verbindung mit Steppenheidenarten zu finden

Urbanität: 1

Winterhärtezone: 5

*Buphthalmum salicifolium* - Wiesenblättriges Ochsenauge

Laubabwerfende Pflanze, die in offenen Landschaften Gruppen bildet. Bevorzugt magere, durchlässige Böden an der Sonne. Kommt gut mit Salzeinträgen zurecht.

Urbanität: 1

Winterhärtezone: 4

*Digitalis lutea* Gelber -Fingerhut

Verträgt teils schattige Standorte, bevorzugt aber meist etwas mehr Sonne. Bildet erst im zweiten Standjahr Blüten.

Urbanität: 1

Winterhärtezone: 7

*Euphorbia cyparissias* - Zypressenwolfsmilch

Eignet sich gut als Bodendecker für trockene Gärten. An lichten Waldstandorten oder im Offenland zu finden, oft zusammen mit Steppenheidenarten an warmen, sonnigen Hängen.

Urbanität: 2

Winterhärtezone: 7

*Fragaria vesca* - Erdbeere

Wüchsige, mehr oder weniger immergrüne Stauden, die sich als Bodendecker eignen. Bevorzugt feuchten, aber gutdurchlässigen Boden, wächst auch bei Trockenheit.

Gedeiht am besten im Halbschatten unter Gehölzgruppen.

Vermehrt sich mit Ausläufern und neigt bei idealen Standortbedingungen zum Wuchern.

Urbanität: 2

Winterhärtezone: 5

*Geranium sanguineum* - Blutroter Storchenschnabel

Bodendecker für sonnige Lagen, mit tief in den Boden dringenden Wurzeln.

Bevorzugt durchlässige Böden.

Kann sich durch ober- und unterirdische Ausläufer kann die Art sich gut an ständig wandelnde Lichtverhältnisse anpassen und zum Teil auch mit ihren Ausläufern in Sträucher hineinklimmen und diese überragen.

Urbanität: 1

Winterhärtezone: 4

*Hieracium aurantiacum* - Mausohr-Habichtskraut

Immergrüne, bestandbildende Art, welche als Bodendecker geeignet ist. Kommt oft in offenen, trockenen Lebensräumen vor und kann sich gut an Standortbedingungen anpassen.

Urbanität: 2

Winterhärtezone: 5

*Hieracium pilosella* - Habichtskraut

Wachsen oft auf grasbewachsenen oder felsigen Bereichen der Bergregionen.

Passt sich gut an den Standort an, geideiht oft auch an sonnigen Standorten gut.

Kann auch ohne Bestäubung viele Samen bilden.

Urbanität: 2

Winterhärtezone: 5

*Lathyrus vernus* - Frühlingsblatterbse

Wächst vorzugsweise in Wäldern, Gestrüpp und Felsvorsprüngen. Die Pflanze benötigt nährstoffarme, eher feuchte und halbschattige Standorte.

Urbanität: 1

Winterhärtezone: 4

*Lavatera thuringiaca* - Thüringer Strauchpappel

Die Art kommt oft auf trockenen, durchlässigen Böden und Küstenbereichen vor.

Benötigt sehr sonnige Standorte.

Urbanität: 2

Winterhärtezone: 8

*Lysimachia nummularia* - Pfennig-Gilbweiderich

Wird aufgrund ihrer kriechenden und mattenbildenden Stängel oft als Bodendecker verwendet.

Bevorzugt feuchte Böden und halbschattige Standorte.

Urbanität: 3

Winterhärtezone: 4

*Prunella grandiflora* - Grossblättrige Brunelle

Anpassungsfähiger, wüchsiger Bodendecker, kommt auf Trockenrasen, Waldlichtungen und Brachland vor. Bevorzugt feuchte Böden und sonnig bis halbschattige Standorte.

Urbanität: 1

Winterhärtezone: 5

*Salvia glutinosa* - Klebriger Salbei

Die langlebige Pflanze bevorzugt eher durchlässige Böden, kommt aber mit den unterschiedlichsten Bodentypen zurecht. Gedeiht am besten an eher achattigen Standorten

Urbanität: 2

Winterhärtezone: 6

*Salvia verticillata* - Quirlblütiger Salbei

Verträgt sonnige Standorte sehr gut, kann sich aber auf mageren Substraten stark aussähen. Kommt wie *S. glutinosa* gut mit trockenen Böden zurecht.

Urbanität: 2

Winterhärtezone: 6

*Verbascum chaixii* - Österreichische Königskerze

Stark wüchsige Staude, die gut mit durchlässigen Böden und praller Sonne zurechtkommt. An der prallen Sonne kann jedoch die Blattfarbe erblassen. Winternasse Böden verkürzen ihre Lebensdauer.

Urbanität: -

Winterhärtezone: 5

*Verbascum nigrum* - Schwarze Königskerze

Wie auch *V. chaixii* kommt sie gut mit trockenen Böden und sonnigen Standorten zurecht und gilt als sehr unempfindlich.

Urbanität: -

Winterhärtezone: 5

*Viola odorata* - Wohlriechendes Veilchen

Halbimmergrüne Staude, welche am besten in nährstoffreicher, durchlässiger Erde an hellen bis halbschattigen Standorten gedeiht.

Sät sich selber gut aus und eignet sich gut für Gehölzrabatten.

Urbanität: 2

Winterhärtezone: 6

### 3 Theorieteil

Alle höher entwickelten Pflanzen stellen bestimmte Ansprüche an ihren Standort. Diese betreffen den Wurzelraum, den Wärme-, Luft- und Wasserhaushalt sowie an die verfügbaren Nährstoffe und die Stabilität des Standortes (Stahr et al., 2012).

Der Einfluss auf Wasser-, Strahlungs- und Wärmehaushalt ist massgeblich vom Boden beeinflusst (Defila & Brändli, 1989).

Die Boden- und Umgebungstemperatur hat dabei einen hohen Einfluss auf die Stoffwechsel- und Wachstumsprozesse der Pflanzen und deren Zeitpunkt von Keimung und Wachstum (Gisi, 1997).

Für Kulturpflanzen liegt der Optimalbereich der Bodentemperatur bei 25 bis 30 °C. Liegt die Temperatur niedriger, verlangsamt sich das Wachstum, liegt sie darüber, kann dies zur Schädigung der Pflanze führen. Eine Bodentemperatur über 45 °C führt zum Hitzetod der Wurzeln (Stahr et al., 2012).

#### 3.1 Bodentemperatur

Die Bodentemperatur ist von den Energieflüssen in den Boden abhängig. Der Wärmetransport erfolgt durch Strahlung in Form von elektromagnetischen Wellen, durch Diffusion und konvektiven Transport von Wärmeenergie. Der Diffusionsvorgang ist wesentlich für den Wärmetransport in humiden Böden zuständig, der konvektive Transport von Wärmeenergie spielt hingegen in den obersten Zentimetern des Bodens eine Rolle. Der Wärmetransport ist jedoch entscheidend von der räumlichen Struktur und der Zusammensetzung des Bodens abhängig (Gisi, 1997).

Die Wärmekapazität des Bodens hängt stark von dessen Wassergehalts ab. Diese ist umso höher, je höher der Wasserhaushalt ist. Auch der Wärmetransport ist vom Wassergehalt abhängig. Er steigt bis zu einem Wassergehalt von ca. 15 % exponentiell an, knickt dann ab und verläuft danach beinahe linear (siehe Abbildung 4). Der Parameter «Wärmetransport» wird in der Abbildung als Temperaturleitfähigkeit bezeichnet, weil dieser laut dem Autor eher die Ausbreitung der Temperatur als die Wärme des Bodens beschreibt. Das bedeutet, dass trockenere Böden einen höheren Wärmehaushalt aufweisen als Böden mit einem entsprechend höheren Wasserhaushalt (Stahr et al., 2012).

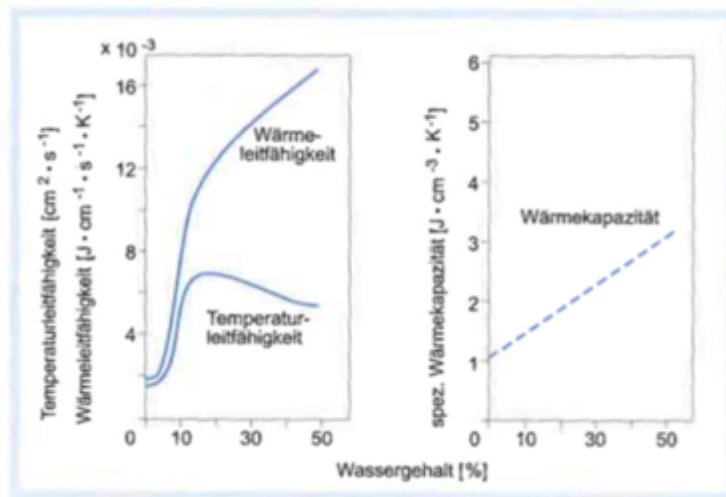


Abb. 4 Wärmekapazität und Temperaturleitfähigkeit des Bodens in Abhängigkeit des Wasserhaushaltes (Stahr et al., 2012)

Der Einfluss der Vegetationsdecke auf den Wärmehaushalt des Bodens besteht im Ausgleich von Temperaturschwankungen, in der Absenkung der Verdunstung von Wasser und turbulenten und laminaren Luftströmungen (Isolationswirkung) (Gisi, 1997).

Wie weit Temperaturschwankungen in den Boden eindringen, hängt von der Periodendauer und der Temperaturleitfähigkeit ab, welche wiederum vom Wasserhaushalt abhängt und bei trockenen Böden höher ist (Stahr et al., 2012).

Die Tagesschwankungen der Bodentemperatur sind in 30 cm Bodentiefe nur noch sehr schwach und unterhalb von 50 cm Tiefe nicht mehr nachzuweisen. Die Maxima und Minima der Tagestemperaturen sind in 10 cm Tiefe um mehrere Stunden verzögert (Gisi, 1997).

Je geringer die spezifische Wärme und die Wärmeleitfähigkeit eines Bodens sind, desto stärker steigt die Erwärmung der obersten Bodenschichten an und umso grösser ist die Abgabe von Wärme an die bodennahe Luft. Der Temperaturunterschied der bodennahen Luft zu jener in 2 m Höhe kann bis zu 50 °C betragen (Bernatzky, 1994).

### 3.2 Bodentemperatur und Pflanzendeckung

Ist der Boden mit Pflanzen bedeckt, erfolgt die Strahlungsabsorption bereits in der Vegetationsschicht. Die Temperaturwerte an der Bodenoberfläche und in den ersten Blattschichten wird dadurch verringert (Bernatzky, 1994).

Die Globalstrahlung und deren Einfluss auf den Boden variiert und hängt ab von der Beschaffenheit der Pflanzendecke und den meteorologischen Bedingungen. So gelangt auf brach liegenden Böden rund 50 % der Globalstrahlung in den Boden, während es bei einer Wiese noch 20 % und bei Mischwald gerade noch 5 % sind (Gisi, 1997).

### 3.3 Wurzeln und Bodentemperatur

Versuche mit Gersten und Weizen führten bei einer erhöhten Bodentemperatur über 30 °C zur Reduzierung der Nährstoffaufnahme von K, N, P, Ca und führte zu einem Anstieg der NaCl-Konzentrationen. Weiter wurde die negative Wirkung von NaCl-Versalzung verstärkt. (Hosien, 1987).

Untersuchungen zur Auswirkung der Bodentemperatur auf die Trieblänge bei *Passiflora edulis* F. *edulis* (Passionsfrucht) zeigten, dass eine konstante Bodentemperatur von 20 °C bei einer nutzbaren Wasserkapazität (NWK) von 80 % im Vergleich zu einer Bodentemperatur von 28 °C bei derselben NWK nur wenig Unterschiede ergab. Deutliche Unterschiede ergaben sich erst, als die NWK 30 % betrug. Dabei ist die Triebängenentwicklung bei 28 °C Bodentemperatur rund 45 % geringer. Bei der Blattentwicklung unter denselben Bedingungen ergaben sich dabei weniger Unterschiede, wobei die höhere NWK zu mehr Blätter führte. Bei der Triebängen- und Blattentwicklung wurden bei Wechseltemperaturen sowohl bei einer NWK von 80 % und 30 % deutlich bessere Ergebnisse erzielt. Bei einer Bodentemperatur von 36 °C stellte die Pflanze ihr Wachstum ein und starb ab. Im selben Versuch wurde auch die Wurzelentwicklung untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die Wurzeltrockensubstanz bei 20 °C besser war als bei 28 °C Bodentemperatur. Für das Wurzelwachstum zeigte eine Bodentemperatur von 24 °C das beste Wachstum (Kantharajah, 1985).

Unterschiede beim Wurzelwachstum von Aspensämlingen konnte auch Straub (1964) der Bodentemperatur zuschreiben. So beginnt das Wurzelwachstum bei einer Bodentemperatur von 10 °C. Bei einer Temperatur von 18 °C betrug der Zuwachs in einem 8 - 10 Tage Zeitraum mehr als 10 cm, während der Wurzelzuwuchs im selben Zeitraum bei 22 °C wieder abnahm. Auch Blatter (2015) konnte in ihrer Arbeit aufzeigen, dass das Wurzelwachstum bei Nadelgehölzen im borealen und gemässigten Klima im Wesentlichen von der Bodentemperatur abhängig ist. Mit Hilfe von Kohlenstoff-Fluss-Messungen wurde herausgefunden, dass Laubwälder erst mit dem Wurzelwachstum beginnen, wenn die Bodentemperaturen den Wert der mittleren jährlichen Lufttemperatur des Standortes überschritten.

Tomaten erreichen bei 12-15 °C bereits eine ähnliche Wachstumsrate wie bei 30 °C. Steigt die Temperatur über 33 °C, wurde das Optimum überschritten und die Wachstumskurve fiel rasch ab. Auch bei den Früchten zeigte sich ein Optimum bei 33 °C und fiel ab 42 °C genauso schlecht aus, wie bei 6 °C. Das Ergebnis wird dem Wurzelwachstum zugeschrieben, dass bei Tomaten ein Optimum bei 33 °C hat und nicht unter 6 °C oder über 36 °C liegen sollte. Ein gleichmässiges Wurzelwachstum wurde bei 12 °C festgestellt, reich verzweigt waren diese aber erst bei über 14 °C. Ab 24 °C konnte dann von einem starken Wurzelwachstum gesprochen werden, wohingegen ab 36 °C eine starke Abnahme des Wurzelwachstums beobachtet wurde (Riethmann, 1933).



Bei mitteleuropäischen Gehölzen scheint zu Beginn und am Ende der Wachstumsperiode, die Bodentemperatur der wichtigste Faktor für das Wurzelwachstum zu sein. Dazu liegen aber aufgrund der schwierigen Methodik nur sehr wenige Untersuchungen vor, sie gelingen meist nur bei Jungpflanzungen unter konstanten Wachstumsbedingungen. Das Wurzelwachstum von *Quercus alba* hat bei 0 °C Bodentemperatur ein Minimum, das Optimum bei 17 °C und das Maximum 25 °C. Je nach Standort und Art gibt es aber auch Anpassungsreaktionen (Lyr, 1992).

Andere Studien zeigen, dass das Wurzelwachstum stark vom Wassergehalt des Bodens gesteuert wird und bei Bodentrockenheit zurück geht (Dobbartin & Giuggiola, 2006).

### **3.4 Bodentemperatur und Nährstoffaufnahme**

Von der Bodentemperatur hängt nicht nur das Wurzel- bzw. das Pflanzenwachstum ab, sondern auch die Aktivität der Bodenorganismen.

So konnte Fries (1985) aufzeigen, dass die Stickstoff(N)-Mineralisierung von stickstoffmineralisierenden Mikroorganismen im Wesentlichen von der Bodentemperatur abhängt.

Für die Baumernährung von Bedeutung ist der zeitliche Verlauf des Nährstoffflusses, der von der Bodentemperatur und des Bodenwasserhaushalts, der Aktivität der Bodenorganismen und vom Verlauf der Stoffeinträge abhängt. Im Speziellen ist die Ammonifikation und Nitrifikation abhängig von der Temperatur, Feuchtigkeit und Azidität des Bodens (Lyr, 1992). Das Temperaturmaximum der Ammonifikation liegt zwischen 60 bis 70 °C und jenes der Nitrifikation zwischen 30 bis 50 °C (Helm, 1995).

Bodenlebewese haben einen physiologischen begrenzten Temperaturbereich zwischen etwa 0°C bis 40-50°C (Hellberg-Rode, 2004). Bei Temperaturen über 60 °C, sterben Mykorrhizapilze ab (Stüttler, 2020). Eine weitere Rolle spielt die Bodenbeschaffenheit (Bernatzky, 1994).

Im Temperaturbereich von 15 °C bis 30 °C wird mehr Nitrat als Ammonium angereichert. Die gebildeten Nitratmengen sinken im Bereich von 35 °C bis 55 °C rasch, ab 65 °C konnten nur noch Spuren davon nachgewiesen werden (Ahrens, 1985). Die Nitrifikation ist mit der Bildung von Säure verbunden, was bei Ausbleiben der Neutralisation mit Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) zur einer Versäuerung des Bodens führt (Willig, n.d).

Bei ungefropten einjährigen Apfel-Unterlagsklonen und veredelten Edelreisern wurden bei konstanten Bodentemperaturen von 25 °C und 30 °C einen verringerten K- und Zn-Gehalt aller Pflanzenteile festgestellt. Dieser Rückgang ging mit einer Zunahme des Na-, Ca- und Mg-Gehalts der Wurzeln und bei 35 °C auch des Na- und Mg-Gehalts der Blätter einher. Der Gehalt an K, Ca, Mg und Na erreichte ein Maximum in den Wurzeln bei 36 °C und in den Blattspitzen bei 29 °C. Eine Wurzeltemperatur von 35 °C senkte den Gesamt-N-Gehalt der Blätter (Gur et al., 1979). Nitrit wird bei der Photosynthese als Elektronendonator verwendet

(Kattge, 2002). Kalium ist für die Photosynthese und die Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks unentbehrlich und ein Mangel an Zink führt zu Zwergwuchs und Chlorophylldefekten (Spektrum, 2001). Calcium gehört für die Pflanzen zu den Nährstoffen, welche sie in grossen Mengen erfordert und für die Aufrechterhaltung des kolloidosmotischen Drucks in der Zelle benötigt. Dort verhindert es eine Quellung während Kalium diese fördert. Ein hoher C-Gehalt mit verringertem K-Gehalt führt somit zu einem gestörten Wasserhaushalt in der Pflanze (Spektrum, 1999). Auch die Wirkung von Phytohormonen wird von Kalium beeinflusst. Ebenso beeinflusst es das Meristemwachstum, die Photosynthese und den Transport der Photosyntheseprodukte. Kalzium ist an der Zellteilung und -streckung sowie an der Enzymstabilisierung beteiligt. Magnesium ist das zentrale Atom des Chlorophylls, stabilisiert Ribosomen, fördert die Proteinsynthese und aktiviert die Phosphorylierungsprozesse (Lyr, 1992).

Stickstoff ist Bestandteil in Aminosäuren, Enzymen und Amide. Kalium-, Kalzium-, Magnesium- und Natriumionen sind an Auslöse-, Aktivierungs- und Kontrollmechanismen beteiligt, indem sie Membranpermeabilität, das Elektropotential und die Leitfähigkeit kontrollieren. Magnesium. Kalzium und Zinn beeinflussen die Struktur von Enzymen und katalysieren oder polarisieren (Lyr, 1992).

Steigt die NaCl-Konzentration im Boden in Folge der Verwendung von Auftausalzen, so konkurrenzieren die Na- und Cl-Ionen die Aufnahme von Kalium, stören den Energiehaushalt im System und erhöhen die Durchlässigkeit von Zellmembranen (Zuber, 2013).

### **3.5 Pflanzen und Hitze**

Als Folge von ungünstigen Umweltfaktoren wie Hitze und Trockenheit, reagieren Pflanzen am Grenzbereich ihres Reaktionsvermögens mit Verlangsamung von Zellteilungen, geringerem Wachstum und Reduktion von Naturverjüngungsprozessen. Wie eine Pflanze auf Extremereignisse reagiert, ob sie sich mit ihrer Reaktion auf die Belastung stabilisieren kann oder ob das Abwehrpotential erschöpft wird und somit Krankheit und Tod eintritt hängt von der zeitlichen Dauer der Belastung und vom genotypisch fixierten Reaktionsvermögen ab (Lyr, 1992). Obschon zur Modifikation der Hitzeresistenz durch Umweltfaktoren von den Bäumen der gemässigten Zone noch keine Untersuchungsergebnisse publiziert wurden, gibt es aber breites Wissen über gewisse Reaktionen allen voran die Photosynthese (Lyr, 1992).

So ist bekannt, dass die Dunkelreaktion der Photosynthese aufgrund der Inaktivität von Enzymen bei hohen Temperaturen gestoppt wird. Das Optimum bei Bäumen liegt zwischen 20 und 30 °C. Steigt die Temperatur über 25 °C, kann die Atmung von Lichtholzarten so ansteigen, dass bis zur Hälfte der gesamten Assimilation wieder veratmet und dadurch weniger davon gespeichert wird (Bernatzky, 1994).

Lyr (1992) beschreibt die Temperaturmaxima für die Photosynthese verschiedener, europäischer Baumarten zwischen 35 und 50 °C, wobei Arten aus südlicheren Regionen

hitzeverträglicher sind als Baumarten unserer Breitengrade. Auch ist die Photosynthese bei Hitze ebenfalls von der Bodenfeuchtigkeit abhängig.

Weiter beschreibt er, dass nach Temperaturen über der arttypischen Temperaturmaxima, die Nettophotosynthese deutlich verringert ist, gegenüber dem Vortag, wo das Temperaturmaximum nicht erreicht wurde. Sofern die Hitze keine Schäden verursacht hat, ist diese Einwirkung reversibel (Lyr, 1992).

Weiter ist bekannt, dass das Streckenwachstum von Gehölzen mehr durch die Temperaturen der Nacht beeinflusst wird als durch diejenigen des Tages. Gesteuert wird das Höhenwachstum von den Sommertemperaturen des vorangegangenen Jahres. Dies als Folge der angelegten Kohlenhydratreserven (Bernatzky, 1994).

Steigt die Temperatur über 50 °C, erleiden Laubbäume Schäden, Nadelgehölze der gemäßigten und borealen Zonen bereits ab Temperaturen von 40 bis 50 °C (Dobbertin & Giuggiola, 2006). Genauere Angaben zu einzelnen Baumarten bezüglich der maximal verträglichen Hitzeeinwirkung, konnten nicht gefunden werden.

### **3.6 Bodenverdichtung**

Volumenänderungen infolge von Kompression gehen praktisch immer zu Lasten des luftführenden Porenvolumens. Je nach Beschaffenheit und Belastung auf den Boden, ist diese bis zu einem gewissen Grad reversibel. Überschreitet die Belastung die materialspezifische Grenze, kann sich der Boden nicht mehr regenerieren. Eine Verschlammung der Bodenoberfläche infolge einer Verdichtung, reduziert das Infiltratvermögen und erhöht den Oberflächenabfluss (Gisi, 1997).

Dadurch steigt der Anteil von «totem» Wasser und der Boden wird kühler, was die Aktivität von Bodenlebewesen reduziert. Die Atmung von Pflanzenwurzeln führt zur Absenkung des Sauerstoffgehaltes und zur Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes. Dies reduziert die biologische Tätigkeit der Bodenlebewesen weiter und kann zum Absterben des Baumes führen (Bernatzky, 1994).

Durch die chemische Umwandlung der organischen Reste spielen Bodenlebewesen eine wichtige Rolle bei der Erhaltung der Vitalität von Bäumen (Bernatzky, 1994).

Durch Abgabe von Schleimstoffen oder durch Ausbildung von Strukturen können Bodenmikroorganismen zur Stabilisierung von Böden beitragen. Die abgesonderten Schleime führen zur Bildung von Mikroaggregaten, Pilze mit ihrem Hyphengeflecht fördern die Stabilität und in den obersten Zentimeter eines Bodens können Bodenalgen stabile Krusten bildend, die die Oberfläche vor Erosion schützt (Stahr et al., 2012).

### **3.7 Vegetation und Streu**

Die Auswirkungen auf die Bodentemperatur einer Vegetationsdecke wurde bereits in den vorherigen Kapiteln erläutert.

Neben der Vegetation leistet auch die abgebaute Streu einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Evaporationsrate und somit auch zu einer konstanteren Bodentemperatur. Aber auch grosse Mengen an unzersetztem Material, das sich zwischen verschlungenen Zweigwerken wie jener einer Staudenunterpflanzung, anreichert, dienen als wirkungsvolle Evaporationsbarriere (Fries, 1985).

Ein grosser Teil der Mineralstoffe wird mit dem Laubfall wieder in den Boden zurückgewonnen. So können bis zu 93 % des Kaliums, 80 % des Kalziums und Magnesiums und über 70 % des Stickstoffes und Phosphor wieder in den Boden gelangen (Bernatzky, 1994).

Die Nitratauswaschung von unterschiedlichen Böden ist am höchsten, auf brachliegenden, vegetationslosen Böden und deutlich reduzierter auf Böden mit einer geschlossenen Pflanzendecke (Gisi, 1997).

## **4 Material und Methoden**

Für die Beantwortung der Forschungsfragen wurden die Temperaturen im Substrat und auf der Substratoberfläche bzw. auf der mineralischen Mulchschicht gemessen. Ebenso wurde der Deckungsgrad der Krautschicht erfasst. Es wurden dabei 4 Baumscheiben untersucht. Bei 2 Baumscheiben bildet eine 10 cm mineralische Mulchschicht den Abschluss, bei den anderen 2 Baumscheiben das Zürcher Baums substrat. Jene Baumscheiben ohne mineralische Mulchschicht, sind zusätzliche mit einem Gitterrost abgedeckt.

Der Baumscheibentyp «mit Mulch und ohne Gitter» wird als Typ A bezeichnet, der Baumscheibentyp «ohne Mulch mit Gitter» als Typ B. Für eine bessere Lesbarkeit wird in der Diskussion neben der Baumscheibennummer auch der Buchstabe für die Typenbezeichnung angegeben.

### **4.1 Datenerhebung/Bonitur**

Die Messungen zur Bodentemperatur wurden im Sommer 2021 vom 16. Juni bis zum 10. September an Tagen, an denen die Regenmenge weniger als 2 mm/h betrug, durchgeführt. Die Daten wurden an mindestens 15 Tagen jeweils eine Stunde vor und nach dem solaren Mittag (ca. 13.30) erhoben. Die Temperaturmessungen wurden mit einem analogen Thermometer für Bodenmessungen durchgeführt. Dieser misst die Temperatur in 30 cm Tiefe. Die Messungen wurden an 6 verschiedenen Punkten in der Baumscheibe erhoben (siehe Abbildung 5). Die Messdauer pro Punkt betrug jeweils 5 Minuten. An den Messtagen wurde des weiteren der Deckungsgrad (%) der Krautschicht in den jeweiligen Baumscheiben mittel Braun-Blanquet-Methode erhoben.

Neben den Bodentemperaturen und des Deckungsgrades wurden auch die Daten der Regenmenge (Tagesmittel in mm), Bewölkung (Tagesmittel in %), Globalstrahlung (Tagesmittel in  $W/m^2$ ) und Lufttemperatur (in  $^{\circ}C$ ) bezogen. Diese Daten stammen von der Datenbank des Bundesamts für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz (IDAWEB, 2020). Verwendet werden die Daten von der Wetterstation Zürich/Fluntern.

Für die Datenauswertung wurde die aktuelle Lufttemperatur zum Messzeitpunkt verwendet. Die Daten für die Bewölkung, Globalstrahlung und Regenmengen sind die Summe, zwischen den Messtagen.

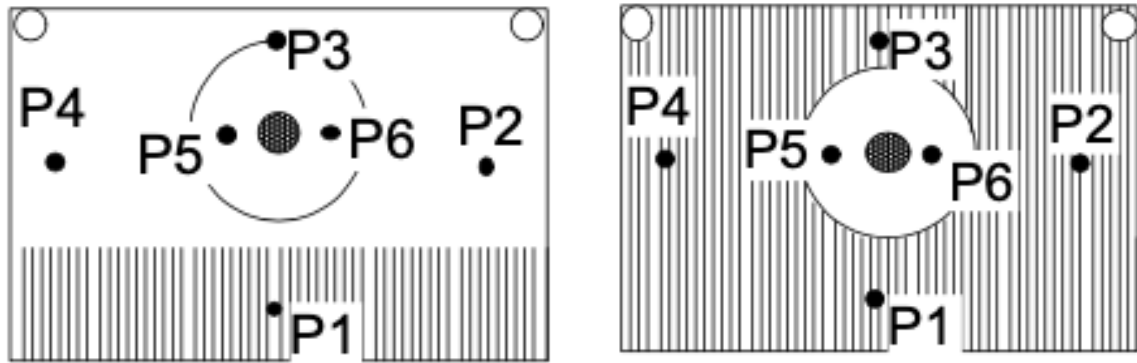


Abb. 5 Messpunkte für die Bodentemperatur für den Baumscheibentyp A (links) und Baumscheibentyp B (rechts)

Quelle: Marc Lötscher

Mit der Wärmebildkamera «FLIR T840» und dem Objektiv «FOC 10mm» wurde die Oberflächentemperatur des Draufbereichs ermittelt. Der Emissionsgrad wurde dabei auf 0.91 festgelegt. Die Bilder werden senkrecht von oben in insgesamt 12 Teilsektoren pro Baumscheibe erstellt (siehe Abbildung 6).

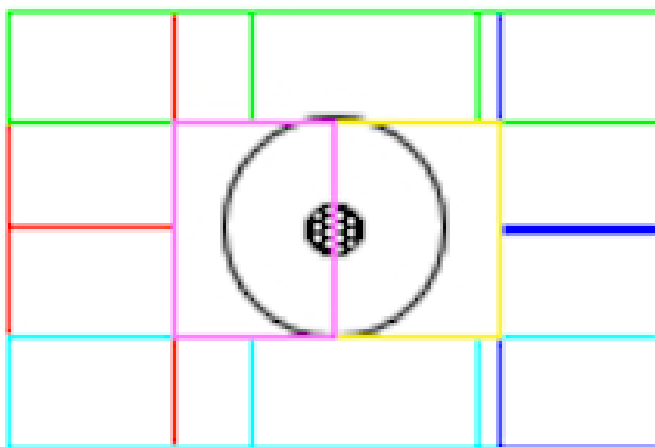


Abb. 6 Einteilung der überlappenden Sektoren für die Aufnahmen der Wärmebildkamera Quelle: Marc Lötscher

#### 4.2 Analyse und Datenauswertung

Die Analyse der Temperaturmessungen und des Deckungsgrades erfolgt mit dem Opensource Programm «RStudio».

Der Signifikanzwert ( $\alpha$ ) zum Verwerfen der Nullhypothese wurde auf  $\alpha > 0.05$  festgelegt. Die Auswertung der Daten erfolgte mit einer Regressions-, Varianz- und Korrelationsanalysen. Dabei wurden Lageparameter erhoben und grafisch dargestellt. Dazu wurden die R-Pakete Moments, Dunn's-Test, Nortest, Psych und ggPlot2 verwendet (Cran R-Studio, 2020).

Bei einer gegebenen Normalverteilung, erfolgte die Auswertung mit einer ANOVA. Die Normalverteilung wurde entweder mit dem Shapiro Shapiro-Wilk-Test oder dem Kolmogorw-

Smirnow-Lilliefors-Test nachgewiesen. Bei einer nicht vorhandenen Normalverteilung der Daten wurde ein Kurskal-Wallis-Test durchgeführt. Die Testung der Korrelation erfolgt nach Pearson, zur grafischen Darstellung werden ggPlots und Boxplots erstellt.

Die Auswertung der Bilder der Wärmebildkamera erfolgten mit dem Programm «FLIR Tools v. 5.13.18031.2002». Dabei wurden alle Bereiche, welche nicht von Vegetation bedeckt sind, ausgewertet. Die daraus resultierenden Daten wurden in Excel eingelesen und ebenfalls mit R analysiert.

Die R-Skripte sind in Anhang E und F ersichtlich, die Rohdaten sind separat auf Complesis abgelegt.

Die Bilder der Wärmebildkamera («Waermebilder\_21.07») sind in Anhang B zu finden, die Rohdaten sind ebenfalls auf Complesis abgelegt.

#### **4.3 Zeitlicher Ablauf der Datenerhebung**

Die Datenerhebung erfolgte in der KW 25 bis in die KW 37. Dazu wurde nach Möglichkeit an zwei Tagen pro Woche die Bodentemperaturen erhoben, gesamthaft aber mindestens 15 Aufnahmen vorgenommen.

Die Bilder mit der Wärmebildkamera für die Oberflächentemperatur wurden an 3 verschiedenen Tagen anfangs Juli, anfangs August und anfangs September gemacht.

## 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Resultate der Untersuchung vorgestellt. Zuerst werden die Resultate bezüglich Bodentemperatur, danach die Resultate bezüglich Oberflächentemperatur und Deckungsgrad präsentiert. Für die Analyse der Bodentemperatur wurden die Rohdaten des Excel-File «Bodentemperatur\_R» verwendet, für die Analyse die Rohdaten des Excel-File «Oberflächentemperatur\_21.07». Diese Dokumente sind separat auf Complesis abgelegt.

### Bodentemperatur

Nachfolgend soll die Frage geklärt werden, ob es einen Unterschied in der Temperaturentwicklung in 30 cm Tiefe zwischen den Baumscheiben des Typs A und des Typs B gibt. Dazu werden auch die jeweiligen Baumscheiben untereinander verglichen.

Da keine Normalverteilung der Daten vorliegt, wurde der Vergleich der Baumscheiben mit dem Kruskal-Wallis-Test durchgeführt.

Mit einer Signifikanz von  $p = .0091$  und einem Temperaturunterschied von  $2.36\text{ }^{\circ}\text{C}$  unterscheiden sich die Baumscheiben Nr.8<sub>B</sub> und Nr.10<sub>B</sub> voneinander. Noch deutlicher unterscheidet sich die Baumscheiben Nr.8<sub>B</sub> von Nr.12<sub>A</sub> und Nr.13<sub>A</sub>. Hier liegt die Signifikanz jeweils bei  $p = .0000$  und einem Temperaturunterschied von  $5.8$  und  $5.86\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der Vergleich der Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub> mit Nr.12<sub>A</sub> und Nr.13<sub>A</sub> ergibt eine Signifikanz von  $p = .0003$  bzw.  $p = .0002$ . Dies zeigt sich in einem Temperaturunterschied von  $3.44\text{ }^{\circ}\text{C}$  bzw.  $3.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der Vergleich der Baumscheiben Nr. 12<sub>A</sub> und Nr. 13<sub>A</sub> ergab eine Signifikanz von  $p = .4776$  und einem Temperaturunterschied von  $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Somit liegen bei allen Baumscheiben statistisch signifikante Unterschiede vor.

Die Abbildung 7 verdeutlicht die Temperaturunterschiede in den jeweiligen Baumscheiben.

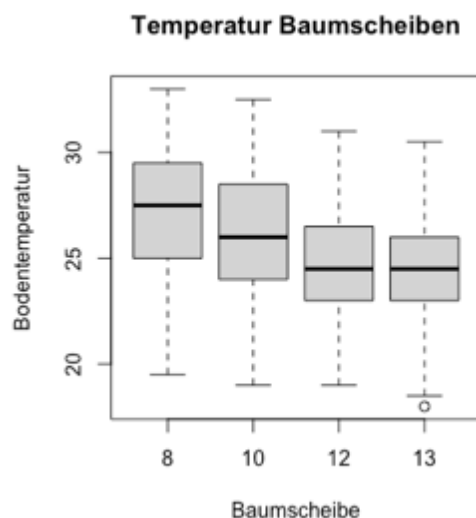


Abb. 7 Boxplot der unterschiedlichen Temperaturmittelwerte der einzelnen Baumscheiben



Auch der Vergleich der jeweiligen Baumscheibentypen wurde aufgrund fehlender Homogenität mit dem Kruskal-Wallis-Test durchgeführt.

Dabei ist der Median ( $\tilde{x}$ ) bei den Baumscheiben Typ A  $\tilde{x} = 24.5$  °C und bei den Baumscheiben Typ B  $\tilde{x} = 27$  °C. Die beiden Baumscheibentypen haben einen signifikanten Unterschied in der Temperaturentwicklung im Boden von  $p = 5.008^{-11}$ . Dies verdeutlicht auch die Abbildung 8.

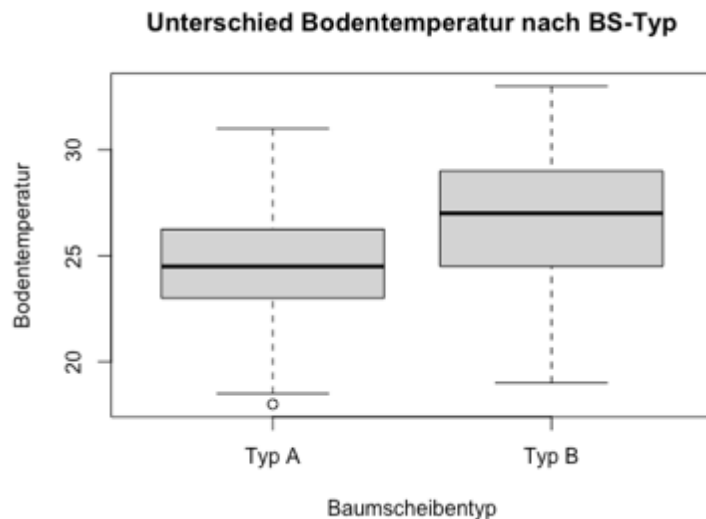


Abb. 8 Unterschied der Bodentemperatur nach BS-Typ

Ob der Deckungsgrad der Vegetation einen Einfluss auf die Bodentemperatur in 30 cm Tiefe hat, wurde ein Signifikanztest für die Normalverteilung nach Shapiro-Wilkostest und einer ANOVA durchgeführt.

Dieser ergab über beide Baumscheibentypen eine eindeutige Signifikanz von  $p = 4.47e-8$ . Die Mittelwerte unterscheiden sich mit  $F(1) = 31.1$  ebenfalls signifikant. Somit besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad und der Bodentemperatur.

Die Untersuchung der Korrelation nach Pearson bezüglich Deckungsgrad und Bodentemperatur über alle 4 Baumscheiben ergab, dass der Korrelationskoeffizient mit  $p = 2.664e-8$  signifikant ist und mit  $r = -.27$  auf eine schwache, negative Beziehung deutet.

Der Korrelationstest nach Pearson für die Bodentemperatur und den Baumscheibentyp ergab, bei Typ A eine Signifikanz von  $p = .44$  und  $r = .05$  und bei Typ B eine statistische Signifikanz von  $p = 8.904e-5$  und  $r = -.27$ . Das heisst, dass der Deckungsgrad bei den Baumscheiben des Typs A eine geringe Auswirkung hat, während der Deckungsgrad beim Typ B deutlich ausgeprägt ist.

Bei der Baumscheibe Nr. 8<sub>B</sub> gibt es mit  $p = .019$  eine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Bodentemperatur und dem Deckungsgrad. Dieser ist aber mit  $r = -.23$  wenig stark ausgeprägt. Eine mögliche Ursache für die negative Korrelation könnte darin liegen, dass der Deckungsgrad abrupt abgenommen hat, während die Temperaturen weiter stiegen. Dies

verdeutlicht die Abbildung 9. Zum Zeitpunkt der Vegetationsabnahme wurden die wärmsten Temperaturen gemessen, danach nahmen die Bodentemperaturen aber wetterbedingt ab, während der Deckungsgrad wieder stieg.

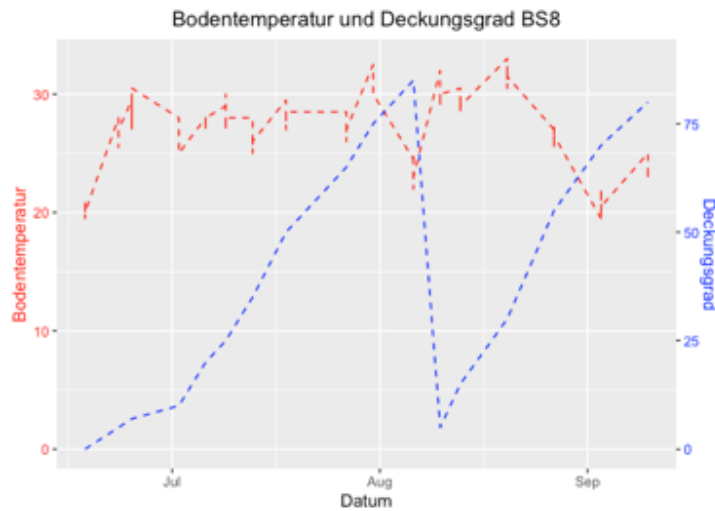


Abb. 9 ersichtlich ist die Entwicklung der Bodentemperatur (rot) und des Deckungsgrades (blau) über den gesamten Messzeitraum. Deutlich zu sehen ist die plötzliche Verminderung des Deckungsgrades während den warmen Augustwochen.

Die Korrelation nach Pearson der Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub> bezüglich des Deckungsgrades und der Bodentemperatur hat einen P-Wert von  $p = .01$  und eine schwach ausgeprägte Korrelation von  $r = -.27$ . Wie bei der Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub>, gibt es zum gleichen Zeitpunkt eine plötzliche Abnahme des Deckungsgrades, was denselben Schluss zulässt (siehe Abbildung 10).

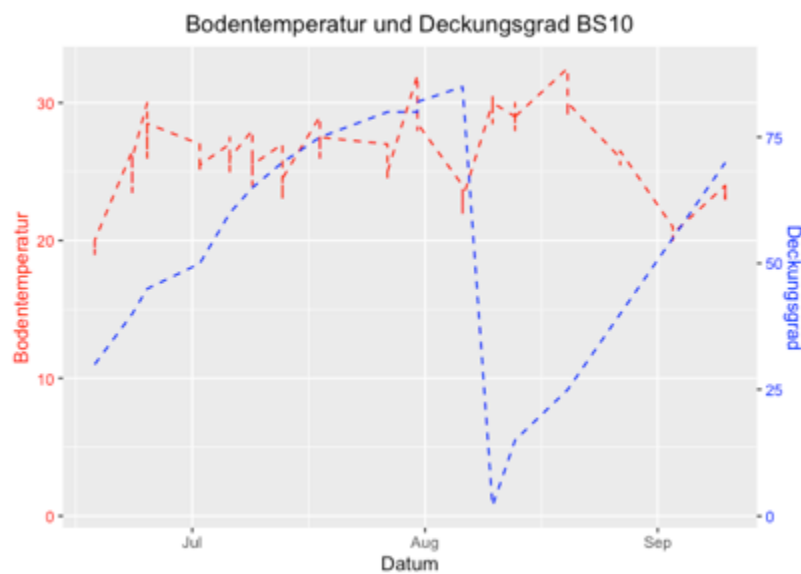


Abb. 10 Verlauf der Bodentemperatur und des Deckungsgrades über den gesamten Messzeitraum der Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub>

Der Pearson Korrelationstest der Baumscheibe Nr.12<sub>A</sub> zeigt eine Signifikanz von  $p = 0.68$  und  $r = .04$ . Somit liegen keine aussagekräftigen Anzeichen für eine statistische Signifikanz der Assoziation zwischen den Variablen vor. Wie die Abbildung 11 verdeutlicht, nimmt der Deckungsgrad bis auf eine kurze Ausnahme stetig zu, die Bodentemperatur folgt dem Deckungsgrad aber nicht konstant konträr.

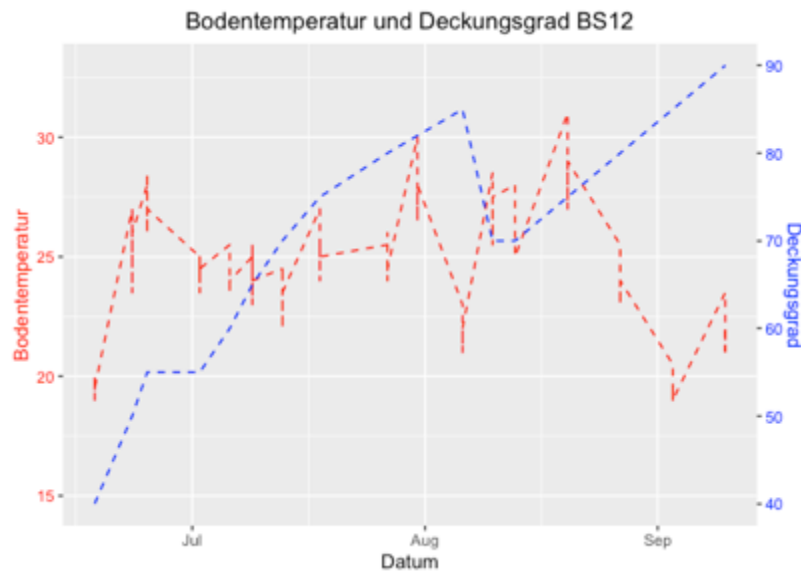
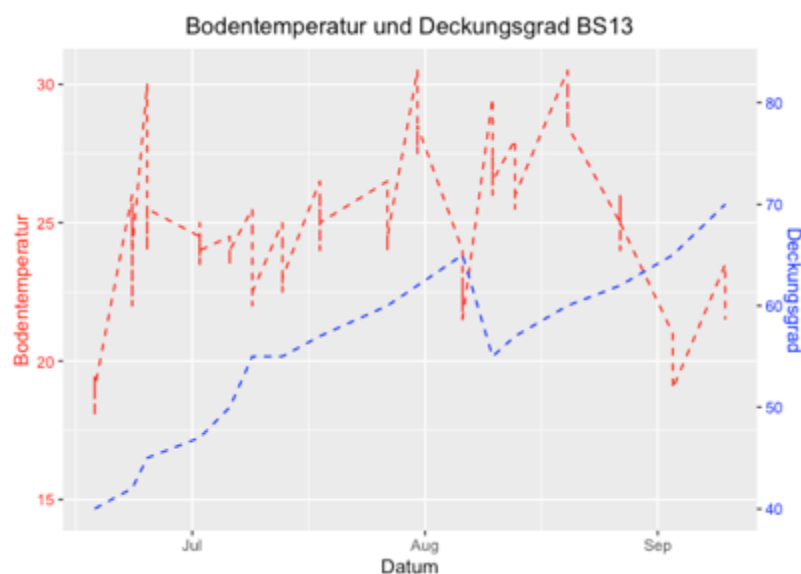


Abb. 11 Entwicklung der Bodentemperatur und des Deckungsgrades über den gesamten Messzeitraum der Baumscheibe Nr.12<sub>A</sub>

Die Korrelation nach Pearson der Baumscheibe Nr.13<sub>A</sub> von  $r = .1$  und  $p = .33$  zeigt, dass eine statistische Relevanz gegeben ist, die Korrelation jedoch wenig stark ausgeprägt ist. Auch hier zeigt die Abbildung 12, dass der Deckungsgrad mit einem kurzen Ausreisser stetig steigt, die Bodentemperatur aber auch.



*Abb. 12 Entwicklung der Bodentemperatur und des Deckungsgrades über den gesamten Messzeitraum der Baumscheibe Nr.13<sub>A</sub>*

Als weiterführende Untersuchung wird nachfolgend der Einfluss der Regenmenge, der Lufttemperatur, der Bewölkung und der Globalstrahlung auf den Baumscheibentyp untersucht. Die Korrelation wird nach Pearson durchgeführt.

Der Zusammenhang zwischen der Regenmenge und Bodentemperatur der Baumscheiben des Typs A ist mit  $p = 5.591e-10$  und  $r = -.42$  mittel stark ausgeprägt und statistisch signifikant. Die Baumscheiben des Typs B weisen die Werte  $p = 4.086e-9$  und  $r = -.4$ .

Deutlicher ist der Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und der Bodentemperatur in den beiden Baumscheibentypen. Bei Typ A ist der P-Wert  $p = 2.2e-16$  und  $r = .64$ , bei Typ B  $p = 2.2e-16$  und  $r = .68$ .

Die Bewölkung hat auf die Bodentemperatur des Baumscheibentyp A mit  $p = .02$  und  $r = -.16$  einen statistisch signifikanten Zusammenhang und ist schwach ausgeprägt. Baumscheibe Typ B zeigt einen P-Wert von  $p = 0.001$  und  $r = -.23$ .

Die Korrelation bezüglich Globalstrahlung und Baumscheibentyp A, ist mit  $p = .008$  signifikant, mit  $r = .19$  schwach ausgeprägt. Typ B ist mit  $p = .002$  und  $r = .22$  ebenfalls signifikant und schwach positiv.

Aufgrund der nicht vorhandenen Normalverteilung wurde mit dem Kruskal-Wallis-Test untersucht, ob es einen Unterschied in der Vegetationsentwicklung in den jeweiligen Baumscheibentypen gibt. Dazu wurde der Deckungsgrad (%) herangezogen.

Mit einer Signifikanz von  $p = 3.796e-16$  gibt es einen deutlichen Unterschied in der Vegetationsentwicklung in den beiden Baumscheibentypen. Dies zeigt auch der Plot des Deckungsgrades nach Baumscheibentyp in Abbildung 13. Der Median des Baumscheibentyps B ist  $\tilde{x} = 61\%$  und jener des Baumscheibentyps A ist  $\tilde{x} = 47.5\%$ . Dies verdeutlicht, dass die Baumscheiben des Typs A einen höheren Deckungsgrad aufweisen.

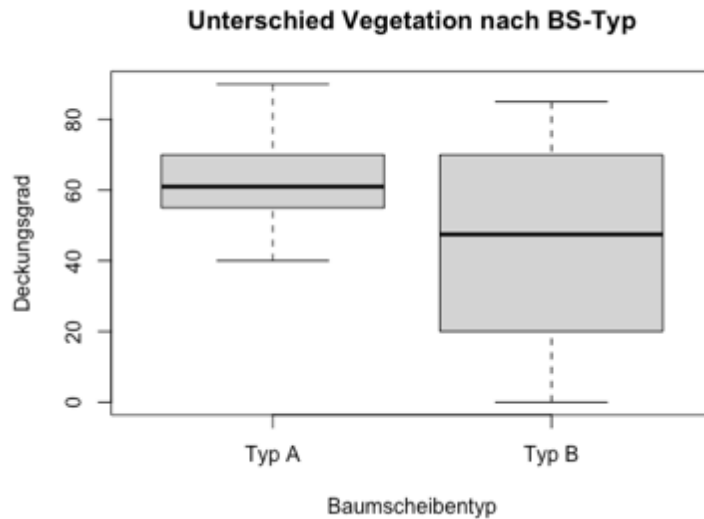


Abb. 13 Boxplot der Mediane des Deckungsgrades nach Baumscheibentyp

### Oberflächentemperatur

Nachfolgend wird die Frage beantwortet, ob es eine unterschiedliche Temperaturentwicklung des Draufbereiches nach Baumscheibentyp gibt.

Zur Analyse wurde nur die Aufnahme der Oberflächentemperatur vom 21.07.2020 verwendet. Die restlichen zwei Aufnahmen wurden aufgrund von zu stark ändernden Wetterverhältnisse während der Datenerhebung, insbesondere Sonnenstrahlung und Bewölkung nicht berücksichtigt, da dies eine zu hohe Fehlerquelle darstellt und die Resultate verzerrt hätte.

Die Temperaturentwicklung auf der Oberfläche der Baumscheibentypen unterscheidet sich mit  $p = 2.2e-16$  statistisch signifikant voneinander. Die Abbildung 14 zeigt die Unterschiede der Oberflächentemperaturen nach Baumscheibentypen.

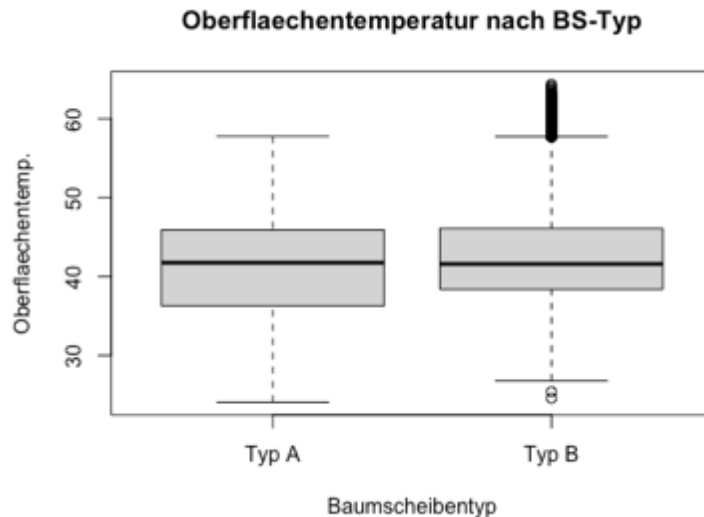


Abb. 14 Oberflächentemperaturen der Baumscheibentypen

Es bestehen zwar statistische Unterschiede der Oberflächentemperatur, der Plot zeigt jedoch, dass es kaum einen Unterschied gibt. Einzig die Spannweite der Temperaturentwicklung ist bei Typ A grösser als jene von Typ B.

Auch die einzelnen Baumscheiben unterscheiden sich voneinander selbst mit  $p = .0001$  signifikant. Der Median bzw. der Mittelwert ( $M$ ) des Baumscheibentyp A beträgt  $\tilde{x} = 41.737$  °C und  $M = 41.44$  °C. Der Baumscheibentyp B hat die Werte  $\tilde{x} = 41.586$  °C und  $M = 42.39$  °C. Dies entspricht einer Differenz des Medians von 0.151 °C und einer Differenz des Mittelwertes von  $M = 0.94$  °C.

Bei den Baumscheiben zeigt sich, dass die Oberflächentemperatur der Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub> am höchsten ist. Mit einer Differenz von  $\tilde{x} = 2.6$  °C und  $M = 1.35$  °C zur Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub>, hat die Baumscheibe Nr.12<sub>A</sub> die zweithöchste Temperaturentwicklung. Hier betragen der Median und der Mittelwert jeweils 42.68 °C. Die geringste Temperaturentwicklung hat die Baumscheibe Nr.13<sub>A</sub> mit  $\tilde{x} = 40.7$  °C und  $M = 40.55$  °C. Das entspricht einem Temperaturunterschied der wärmsten Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> von  $\tilde{x} = 4.58$  °C und  $M = 3.48$  °C. Der Unterschied zum gleich Baumscheibentyp (Nr.12) beträgt  $\tilde{x} = 1.98$  °C  $M = 2.13$  °C.

Abbildung 15 zeigt die Oberflächentemperaturen der einzelnen Baumscheiben.

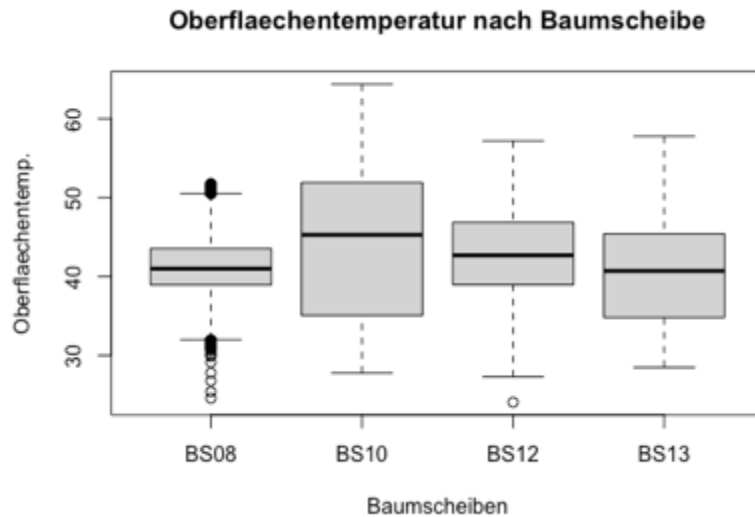


Abb. 15 Oberflächentemperaturen der einzelnen Baumscheiben

In Tabelle 1 sind die Minima und Maxima der einzelnen Baumscheiben aufgelistet. Das geringste Temperaturmaximum hat die Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub>, während die Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub> vom gleichen Baumscheibentyp, die höchste Temperatur aufweist. Die Baumscheiben Nr.12<sub>A</sub> und 13<sub>A</sub>, welche ebenfalls vom selben Baumscheibentyp sind, zeigen ein annähernd gleiches Temperaturmaximum. Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> und 12<sub>A</sub> haben ein ähnliches Temperaturminimum, ebenso Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub> und 13<sub>A</sub>.

Tabelle 1 Temperaturmaximum und -minimum der jeweiligen Baumscheiben

Baum-scheibe	Temperatur Maximum	Temperatur Minimum
08	51.78	24.56
10	64.38	27.76
12	57.17	24.07
13	57.78	28.479

Die Auswertung der Daten bezüglich des Deckungsgrades erfolgte mit Dunn's-Test und dem Wilcoxon-Test.

Beide Test's ergaben einen signifikanten Unterschied von  $p = .000$  (Dunn's-Test) bzw.  $p = 2.2e-16$  (Wilcoxon-Test).

Die Median der Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> ist  $\tilde{x} = 41$  %, jener von Nr.10<sub>B</sub> und 12<sub>A</sub> ist  $\tilde{x} = 40.7$  %. Die Baumscheibe Nr.13<sub>A</sub> hat einen Median von  $\tilde{x} = 43.42$  %.

Der Mittelwert der Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> ist  $M = 41.33$  %, die Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub> und Nr.12<sub>A</sub> haben einen Mittelwert von  $M = 40.55$  % und jener von Nr. ist  $M = 43.4$  %.

Die Abbildung 16 zeigt die Oberflächentemperatur im Zusammenhang mit dem Deckungsgrad.

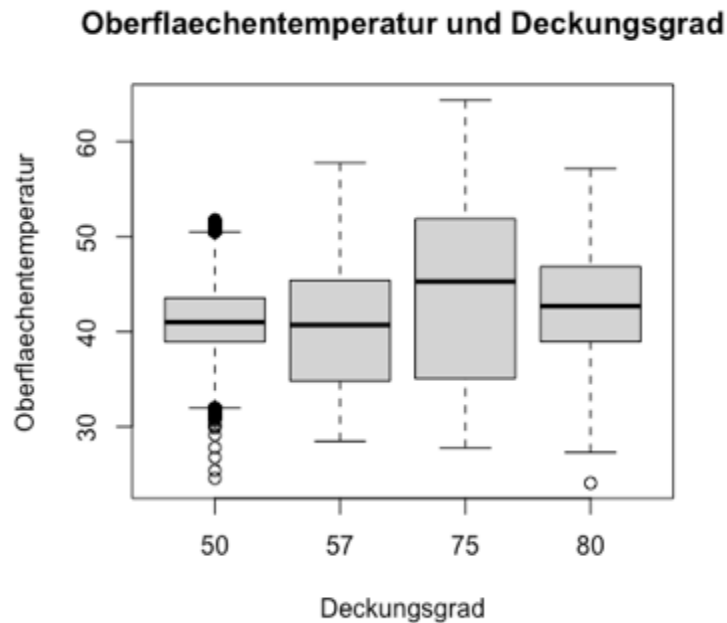


Abb. 16 Oberflächentemperatur im Zusammenhang des Deckungsgrades. Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> hat eine Deckungsgrad von 50 %, der Deckungsgrad von Nr.10<sub>B</sub> beträgt 75 %, Baumscheibe Nr.12<sub>A</sub> hat einen Deckungsgrad von 80 % und jener von Baumscheibe Nr.13<sub>A</sub> ist 57 %.

Der Plot zeigt, dass die Streuung der Temperatur bei der Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> geringer ist als die der restlichen Baumscheiben, jedoch am meisten Ausreisser aufweist. Die Werte sind aber näher beisammen als bei den weiteren Baumscheiben. Auch ersichtlich ist, dass Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub> die höchsten Temperaturen aufweist. Hier ist der Median am grössten und die Verteilung der Temperaturwerte ist am grössten. Der Deckungsgrad ist dabei unabhängig vom Baumscheibentyp. Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> und 13<sub>A</sub> haben einen ähnlichen Deckungsgrad, ebenso Baumscheibe Nr. 10<sub>B</sub> und 12<sub>A</sub>. Es gibt somit keinen deutlichen Zusammenhang bezüglich Deckungsgrad und Oberflächentemperatur bei den untersuchten Baumscheiben.



## 6 Diskussion

Nachfolgend werden die Resultate hinsichtlich der Fragestellung besprochen. Es wird zuerst auf die Fragen bezüglich der Bodentemperatur eingegangen und anschliessend die Ergebnisse der Daten der Oberflächentemperatur diskutiert.

### Bodentemperatur

Die statistische Auswertung ergab, dass sich die beiden Baumscheibentypen bezüglich Bodentemperatur deutlich unterscheiden. Die Mediane haben einen Unterschied von 2.5 °C. Dies wurde so erwartet.

Der Vergleich der einzelnen Baumscheiben untereinander ergab, dass sich Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> und Nr.10<sub>B</sub> statistisch signifikant unterscheiden. Der Temperaturunterschied beträgt dabei 2.36 °C. Da diese Baumscheiben vom gleichen Typ sind, wurde dies so nicht erwartet.

Schaut man sich die Abbildung 9 und 10 im Kapitel 5 an ist zu erkennen, dass der Verlauf der Bodentemperatur (rot) und jener des Deckungsgrades (blau) bezüglich der Bodentemperatur ein fast identisches Verlaufsmuster aufweisen, während der Verlauf des Deckungsgrades identisch ist. Der Unterschied des Temperaturverlaufes ist, dass bei Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub>, Minima und Maxima immer leicht höher sind als jene der Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub>. Da die Lufttemperatur, Globalstrahlung, Regenmenge, Bewölkung und Messzeitpunkt identisch sind, könnte dies der Einfluss des Standortes sein, auch wenn die Baumscheiben nur etwa 15 m voneinander entfernt liegen, denn bei der Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub> generiert das in unmittelbarer Nähe befindliche Gebäude einen früheren Schattenwurf auf die Baumscheibe und diese ist so weniger lang der Abendsonne ausgesetzt. Der Vergleich der Baumscheiben Nr.12<sub>A</sub> und Nr.13<sub>A</sub> ergab zwar einen statistisch signifikanten Unterschied, mit 0.05 °C Unterschied der Mediane ist der Wert in der Praxis jedoch nicht relevant. Für weitere Untersuchungen die mit R ausgewertet werden wäre zu überlegen, das Alpha anzupassen.

Mit einem Temperaturunterschied von 2.5 °C kann der Baumscheibentyp einen Einfluss auf die Vitalität des Baumes haben. Vitalität beim Baum heisst, dass dieser genug Leistungsfähigkeit hat, sich der gegebenen Situation anzupassen oder diese nutzt, um möglichst optimal «überleben» zu können. Dies äussert sich in seiner Stoffwechselaktivität. Wie Lyr (1992), aber auch Straub (1964), Kantharajah (1985) und Riethmann (1933) in ihren Untersuchungen über das Temperaturoptimum von Tomatenpflanzen, Aspensämlingen und Quercus alba feststellten, hat jede Pflanze einen Temperaturpunkt, an dem das Wurzelwachstum stark reduziert oder gar eingestellt wird. Dieser Temperaturunterschied der Mediane kann an Hitzetagen entscheidend sein, ob der Jungbaum, der die meisten Wurzeln noch in den oberen Bodenschichten hat, Wurzelzuwachs macht oder nicht und somit an Vitalität gewinnt oder zumindest nicht verliert. Wie sich der gemessene Temperaturunterschied auf die gepflanzten Bäume in den

untersuchten Baumscheiben auswirkt, kann aufgrund mangelnder Literatur nicht abschliessend gesagt werden.

Um die Frage zu beantworten, ob der Deckungsgrad der Vegetation einen Einfluss auf die Bodentemperatur hat, wurden einerseits die beiden Baumscheibentypen auf den Zusammenhang der beiden Variablen hin untersucht und andererseits die einzelnen Baumscheiben diesbezüglich betrachtet.

Es zeigte sich, dass der Deckungsgrad einen statistischen relevanten Einfluss auf die Bodentemperatur nach Baumscheibentyp hat. Dies wurde so erwartet, da die Baumscheiben vom Typ A bereits bepflanzt wurden. Die Korrelationen sind jedoch nur schwach ausgeprägt. Mit einem P-Wert von  $p = .44$  ist die Signifikanz bei den Baumscheiben des Typs A nur gering signifikant, während Typ B mit  $p = 8.904e-5$  eine eindeutige Signifikanz hat. Der Deckungsgrad hat also bei den Baumscheiben des Typs A nur einen geringen Einfluss, jedoch einen eindeutigen beim Typ B. Dort stieg die Bodentemperatur an, als der Deckungsgrad abnahm. Dies zeigt wiederum, dass der Deckungsgrad einen eindeutigen Einfluss auf die Bodentemperatur hat.

Der Vergleich der einzelnen Baumscheiben bezüglich der Korrelation zeigte, dass die Ausprägung des Einflusses des Deckungsgrades gering ist, der Einfluss aber statistisch signifikant ist. Ausnahme ist die Baumscheibe Nr.12<sub>A</sub>. Dass der Zusammenhang zwischen Bodentemperatur und Deckungsgrad nur bedingt herstellbar ist könnte daran liegen, dass die Vegetation sich sukzessive aufbaut und erst am Ende der Messperiode ausgeprägt ist, wo die Bodentemperaturen auch wieder wetterbedingt abgenommen haben. Das würde heissen, dass in erster Linie der Baumscheibentyp einen Einfluss auf die Bodentemperatur und weniger der Deckungsgrad. Wäre dem so, dann müsste bei Baumscheibe Nr.13<sub>A</sub> ebenfalls kein statistischer Zusammenhang herstellbar sein. Mit  $p = .33$  ist dieser gegeben, ob schon der Deckungsgrad zu Beginn mit 40% gleich wie in Nr.12<sub>A</sub> ist. Eine Erklärung für den Unterschied könnte wiederum der Standort sein. Eine andere Möglichkeit wäre ein unterschiedlicher Wasserhaushalt. Dieser könnte anders sein, wenn das Regenwasser in unterschiedlicher Menge in die Baumscheiben fliesst oder das Substrat eine andere Wasserzügigkeit aufweist. Bei einer unterschiedlichen Wasserzügigkeit würde sich auch die Bodentemperatur unterschiedlich entwickeln, denn fliesst das Wasser schneller in die Tiefe, würde dies die oberen Schichten weniger stark abkühlen. Fliesst das Wasser an unterschiedlichen Orten rein und versickert zusätzlich unterschiedlich schnell, wäre dies eine mögliche Fehlerquelle beim Messen. Bei einem Bodentemperaturunterschied von 0.05 °C, ist dies aber sehr geringfügig unterschiedlich, was wiederum für den Standort und somit die Exposition der Baumscheibe als Möglichkeit sprechen würde.

Um die Frage eindeutig zu beantworten, müssten weitere Daten erhoben werden, wenn die Vegetation in den Baumscheiben Nr.12<sub>A</sub> und Nr.13<sub>A</sub> sich voll entwickelt hat.

Als weiterführende Untersuchung wurde noch die Korrelation der Lufttemperatur und der Regenmenge auf die Bodentemperatur, sowie der Einfluss der Globalstrahlung und der Bewölkung durchgeführt. Die Regenmenge hat hierbei eine mittelstarke Ausprägung. Abbildung 17 zeigt, dass wann immer es geregnet hat, die Bodentemperaturen gefallen sind.

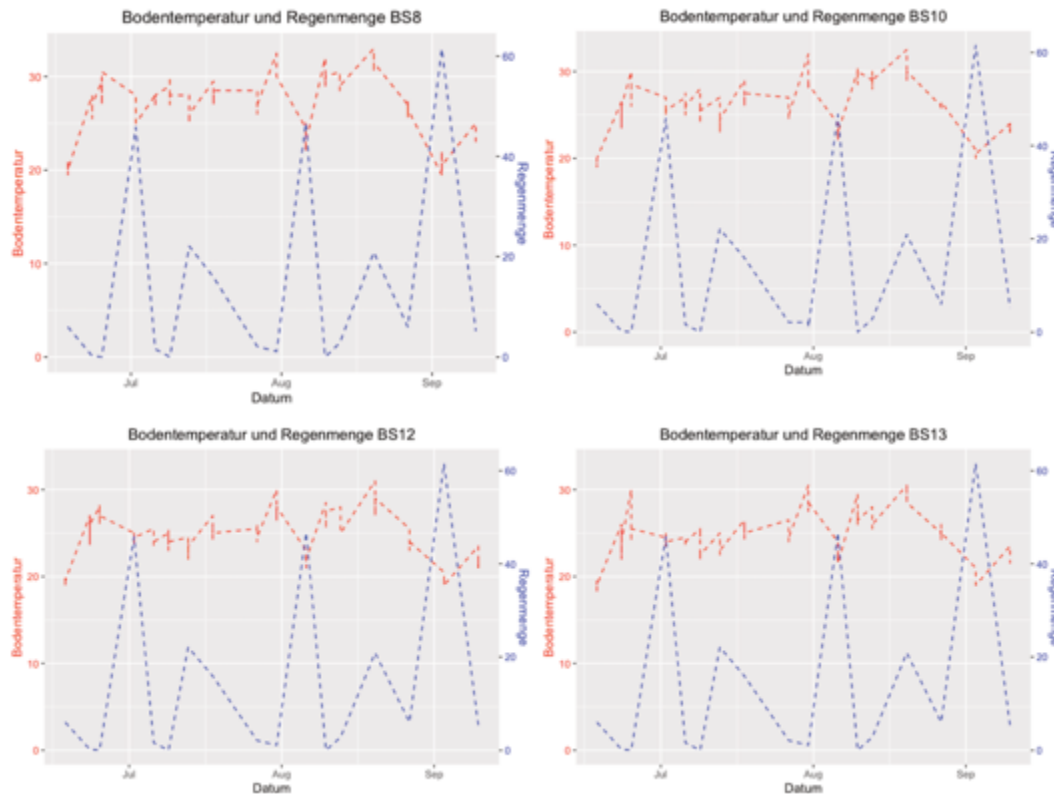


Abb. 17 Regenmenge und Bodentemperaturverlauf über die gesamten Messperiode

Da aber regelmässig gegossen wurde, dürfte der Einfluss eines feuchten Substrates auf die Bodentemperatur grösser sein, als die Berechnungen aktuell aussagen. Weil aber die Tage an denen gewässert wurde und auch die Wassermenge unbekannt sind, konnten die Daten nicht in die Berechnung mit einbezogen werden. Dazu bedürfte es auch anderer Methoden und setzt geeignete Messgeräte voraus, welche die Bodenfeuchte direkt ermitteln, statt der Mittelwert der Regen- und Wässerungsmenge für die Berechnungen zu verwenden. Dass der Wasserhaushalt des Bodens aber einen Einfluss auf die Bodentemperatur hat, wurde bereits von Stahr et al. (2012) und Gisi (1997) ausführlich untersucht und bestätigt.

Deutlicher ist der statistische Zusammenhang der Lufttemperatur auf die Bodentemperatur. Abbildung 18 veranschaulicht, dass sich die beiden Grafen im Verlauf ähneln.



Abb. 18 Lufttemperatur und Bodentemperaturverlauf in °C über die gesamten Messperiode

Der Zusammenhang der Bodentemperatur mit der Globalstrahlung ist ähnlich schwach ausgeprägt wie der Einfluss der Bewölkung auf die Bodentemperatur. Auch dies deckt sich mit der Literaturrecherche. Abbildung 19 und 20 verdeutlichen das.

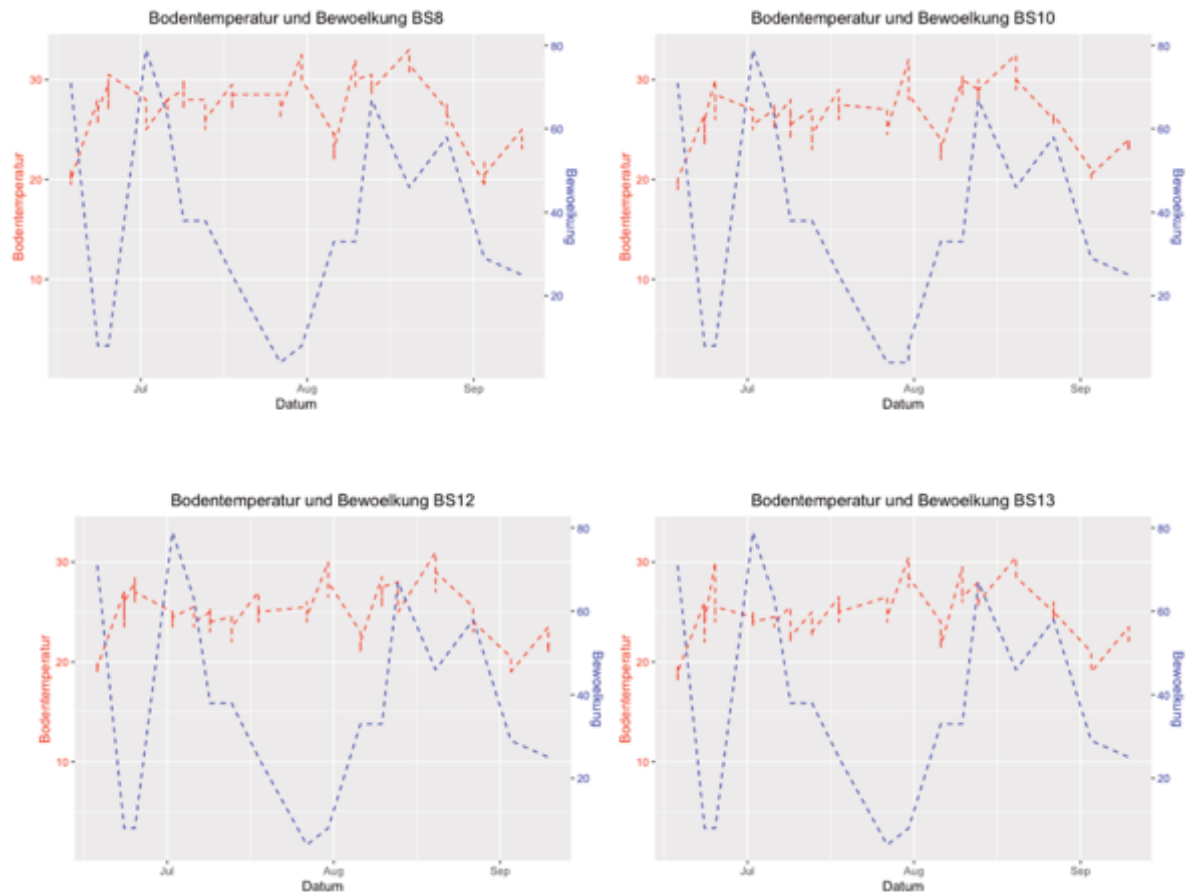


Abb. 19 Bewölkung in % und Bodentemperaturverlauf in °C über die gesamten Messperiode

Im Juni nimmt die Bewölkung ab und die Bodentemperatur steigt. Als im Juli die Bewölkung wieder steigt, nimmt die Bodentemperatur nur geringfügig ab. Während im Hochsommer kaum Bewölkung vorhanden ist, steigt die Bodentemperatur auf ein Maximum an. Als Mitte August dann der Deckungsgrad der Bewölkung wieder zunimmt, entsteht ein weiteres Maximum. Der Fall des Grafen für die Bodentemperatur Ende August lässt sich besser mit der Regenmenge und der Lufttemperatur erklären.

Auch der Verlauf der Globalstrahlung lässt keinen klaren Zusammenhang erkennen. Die Bodentemperatur steigt, auch wenn die Globalstrahlung abnimmt. Maxima der Strahlung decken sich meist Zeitverzögert mit dem Verlauf der Bodentemperatur. Dass sich die Globalstrahlung aber nicht mit dem Verlauf der Bodentemperatur deckt, konnte so erwartet werden. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Globalstrahlung nur in die oberen 10 cm reicht, die Luft aber durch die Poren des Substrates und die Feuchtigkeit diffundiert. Dies bedeutet aber nicht, dass der Globalstrahlung keine Beachtung geschenkt werden darf. Flachwurzler wie der verwendete *Acer rubrum* 'sommerset' und Bäume, welche zu hoch gepflanzt wurden, könnten empfindlich auf die Besonnung reagieren und den Baum negativ in seiner Vitalität beeinträchtigen. Dem entgegenwirken könnte eine schnell schliessende Pflanzendecke und Spontanvegetation. Eine schnelle Deckung des Bodens könnte mit kurzlebigen Arten erreicht werden.

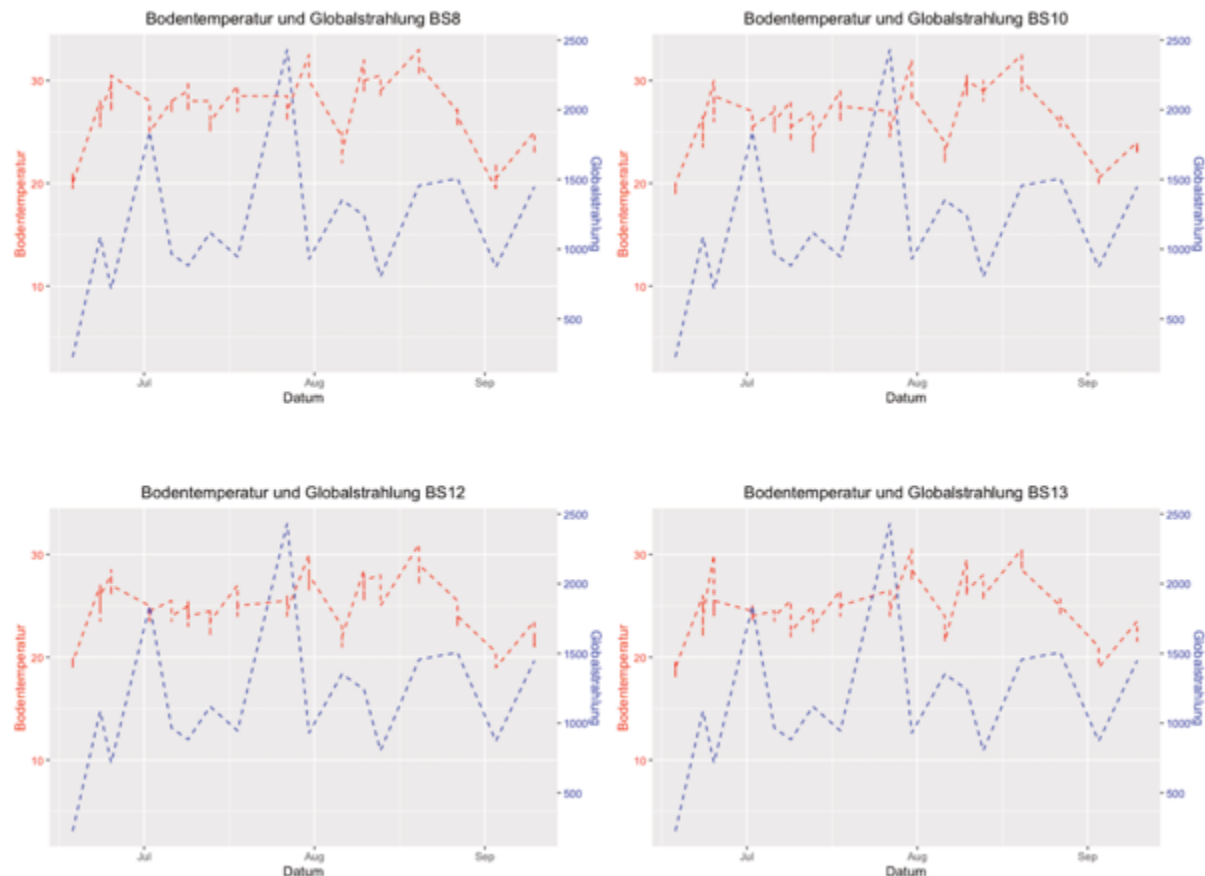


Abb. 20 Globalstrahlung in  $\text{w/m}^2$  und Bodentemperaturverlauf in  $^{\circ}\text{C}$  über die gesamten Messperiode

Die Auswertung der Daten zeigt also, dass die Faktoren Lufttemperatur und Regen sowie der Baumscheibentyp eine grössere Auswirkung auf die Bodentemperatur haben als der Deckungsgrad. Wie aber aus der Literatur bekannt ist, erfolgt die Strahlungsabsorption bei geschlossener Pflanzendecke bereits in der Vegetationsschicht, was zu geringerer Erwärmung der obersten Bodenschicht führt und somit zu einem geringeren Wärmetransport in tiefere Bodenschichten. Weiter führt eine geschlossene Vegetationsdecke zu einem ausgeglichenen Wasserhaushalt. Mit kurzlebigen Arten, die schnell einen hohen Deckungsgrad ermöglichen, könnte mit der Vegetation früher Einfluss auf die Bodentemperatur genommen werden.

Die erhobenen Daten lassen bezüglich Deckungsgrad und dessen Einfluss auf die Bodentemperatur, keine abschliessende Schlussfolgerung zu. Wie bereits erwähnt müsste dies zu einem späteren Zeitpunkt erneut untersucht werden müsste, wenn sich eine geschlossene Vegetation gebildet hat.

Die Analyse der Daten, ob es einen Unterschied in der Vegetationsentwicklung der beiden Baumscheibentypen gibt, ergab einen statistisch signifikanten Unterschied. In den Baumscheiben des Typs A beträgt der Median 61 %, während dieser beim Baumscheibentyp B 47.5 % beträgt. Dies lässt aber noch keine eindeutige Schlussfolgerung zu, dass der

Baumscheibentyp einen Unterschied bezüglich der Vegetationsentwicklung bewirkt. Einfluss auf den Deckungsgrad der Baumscheiben hatten im Wesentlichen die Bewirtschaftung und die Tatsache, dass die Baumscheiben Nr.12<sub>A</sub> und Nr.13<sub>A</sub> bereits bepflanzt wurden. Abbildung 21 zeigt exemplarisch die Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub>. Bis zum 03. August 2020 hatte sich eine üppige Spontanvegetation gebildet, welche den grössten Teil der nicht mit Gitter bedeckten Substratfläche und den Stammfuss beschattet. Am 10. August 2020 wurde die ganze Spontanvegetation durch einen Pflegeeingriff, bis auf eine Sonnenblume und etwas verbleibende Spontanvegetation, entfernt. In Anhang C sind die restlichen Baumscheiben chronologisch abgebildet.



*Abb. 21 Beispiel für die Bewirtschaftung der Baumscheibe Nr.10<sub>B</sub>. Links am 03.08.20, rechts am 10.08.20. Foto: Marc Löttscher*

Um den Einfluss des Baumscheibentypes auf die Vegetationsentwicklung abschliessend zu beantworten, müssten die Baumscheiben über eine längere Zeit untersucht werden. Dabei müsste nicht nur der Deckungsgrad als Argument für eine bessere Wüchsigkeit des Baumscheibentyps herangezogen werden, sondern auch die Stabilität und Diversität des Vegetationssystems, denn dies liesse wiederum eine Schlussfolgerung über die Qualität der Baumscheibe als Vegetationsstandort zu.

### **Oberflächentemperatur**

Die Auswertung der Daten bezüglich der Frage, ob es einen Unterschied in der Temperaturentwicklung des Draufbereiches nach Baumscheibentyp gib, führte zum Ergebnis, dass der Unterschied statistisch signifikant ist. Wird der Boxplot der Abbildung 14 aus dem Kapitel 5 herangezogen und die Differenz des Medians von 0.151 °C und des Mittelwertes mit 0.94 °C genommen, ist der Unterschied in der Praxis nicht gegeben. Was aber die Analyse nicht berücksichtigt ist, dass die Fläche, die nicht mit Vegetation bedeckt ist, beim Baumscheiben Typ B wesentlich höher ist als jene des Typs A. Dies verdeutlicht auch Abbildung 22.



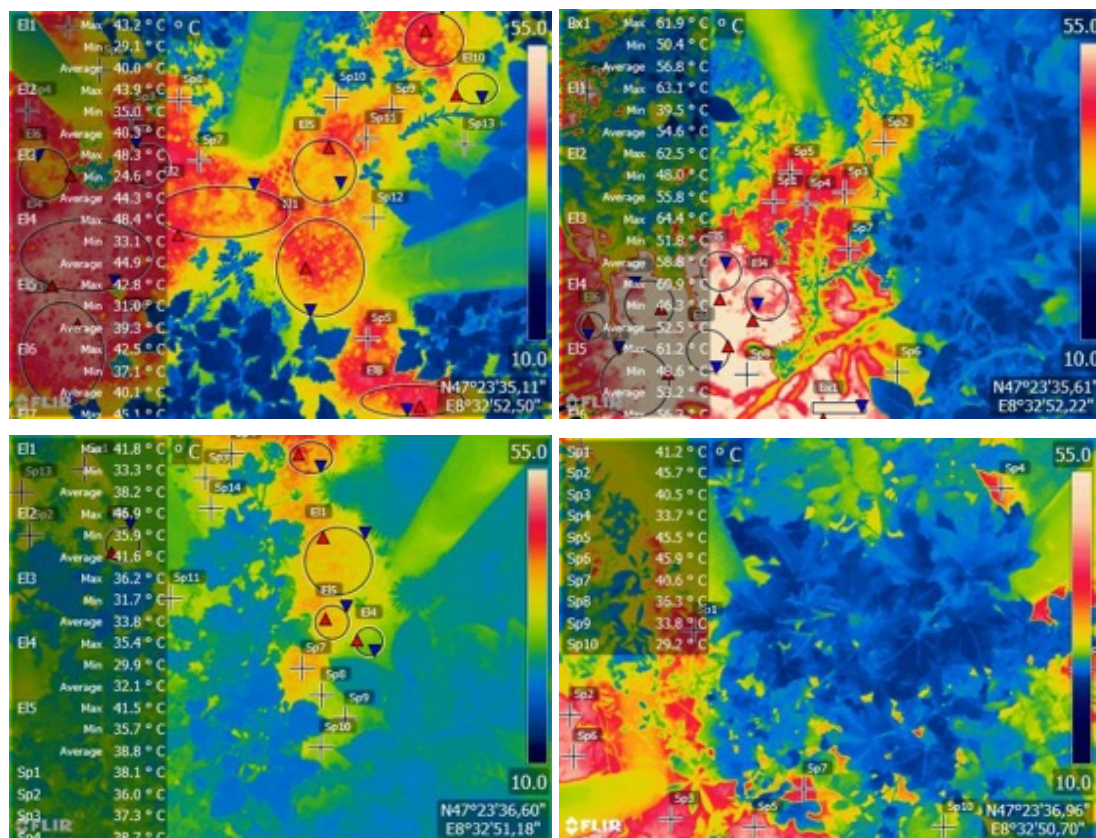


Abb. 22 Wärmebildaufnahmen der Baumscheibe Nr. 8<sub>B</sub> (oben links), Nr. 10<sub>B</sub> (oben rechts), Nr. 12<sub>A</sub> (unten links) und Nr. 13<sub>A</sub> (unten rechts). Abgebildet ist jeweils der Quadrant S6, wo der Stammfuss der Jungbäume und die umliegende Bodenbedeckung mit Pflanzen, Mulchschicht oder Zürcher Baumschubstrat zu sehen ist. Foto: Tal Hertig

Gut ersichtlich ist in den Abbildungen, dass in den Bildern der Baumscheibe Nr. 8<sub>B</sub> und 10<sub>B</sub> weniger Fläche mit Vegetation bedeckt ist als in den Baumscheiben Nr. 12<sub>A</sub> und 13<sub>A</sub>. Auch gut ersichtlich ist die Temperaturentwicklung. Die Baumscheiben Nr. 8<sub>B</sub> und 10<sub>B</sub> weisen deutlich mehr Fläche mit hohen Temperaturen auf als die beiden anderen Baumscheiben. Hinzu kommt, dass eine hohe Temperaturentwicklung nahe am Stamm entsteht. Dies kann den Baum erheblich in seiner Vitalität beeinträchtigen. Wird die Bepflanzung so geplant und umgesetzt, dass die hochwachsenden Arten nahe am Stamm sind, könnte das den Baum vor Hitzeschäden schützen und dadurch seine Vitalität erhalten. In den Baumscheiben, wo keine Bepflanzung geplant wurde, kann die Spontanvegetation unterstützend wirken.

Baumscheibe Nr. 10<sub>B</sub> weist mit 64.38 °C die höchste Temperatur auf. Das Temperaturoptimum von europäischen Bäumen liegt zwischen 20 °C und 30 °C. Bereits bei Temperaturen über 25 °C wird bis zur Hälfte der gesamten Assimilation wieder veratmet. Das Temperaturmaximum von europäischen Baumarten liegt zwischen 35 °C und 50 °C. Bei Temperaturen darüber, erleiden Laubbäume Hitzeschäden. Werden am Tag solch hohe Temperaturen wie in Baumscheibe Nr. 10<sub>B</sub> erreicht, kühlen diese auch weniger schnell ab, was den sogenannten Chill-Effekt in der Nacht verkürzt, oder gar verhindert. Dies bedeutet, dass weniger Assimilate gespeichert werden und der Baum dadurch weniger Reserven anlegen kann.



Nicht erwartet wurde hingegen, dass das Temperaturmaximum der Baumscheibe Nr.8<sub>B</sub> unter jenem der Baumscheiben Nr.12<sub>A</sub> und 13<sub>A</sub> liegt. Der Emissionsgrad von Erde wird je nach Quelle mit 0.9-0.98 angegeben und jener von Kies mit 0.9-0.95. Somit kann eine Verfälschung der Resultate durch einen fehlerhaft eingestellten Emissionsgrad ausgeschlossen werden. Eine mögliche Ursache für den nicht erwarteten Temperaturunterschied könnte wiederum der Standort sein oder es könnte an der mineralischen Mulchschicht selbst liegen, die bei nicht Beschattung eine höhere Temperaturentwicklung hat.

### **Fazit der Diskussion**

Es konnte aufgezeigt werden, dass der Baumscheibentyp einen Einfluss auf die Entwicklung der Bodentemperatur hat. Auch konnte gezeigt werden, dass die Vegetation die Bodentemperatur beeinflusst. Die Daten zeigten aber auch, dass die Baumscheibe alleine nicht der einzige Einflussfaktor der Bodentemperatur ist. Eine Auswirkung darauf scheint auch der Standort der Baumscheibe zu haben. Weiter könnte auch die Wasserzügigkeit und die Art und Weise wie das Wasser in die Baumscheibe gelangt, die Bodentemperatur beeinflussen. Gerade weil nicht bekannt ist, wie und wie oft gewässert wurde, könnten dies mögliche Fehlerquellen bei der Messung sein. Mit differenzierteren Messgeräten könnte das in einer weiteren Untersuchung objektiviert werden.

Wie die Vegetationsentwicklung in den jeweiligen Baumscheibentypen ist, kann nicht abschliessend geklärt werden und bedarf weiterer Untersuchungen.

Trotz eines statistisch signifikanten Unterschiedes in der Temperaturentwicklung des Draufbereichs, ist der Unterschied im Mittel mit weniger als einem Grad nicht entscheidend. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass die Grösse der vegetationsfreien Fläche in der Analyse nicht berücksichtigt wurden.

## 7 Schlussfolgerung

Ziel dieser Arbeit war es, in einem Feldversuch herauszufinden, ob eine mineralische Mulchschicht mit Staudenbepflanzung im Vergleich mit Baumscheiben ohne mineralische Mulchschicht und ohne Staudenbepflanzung einen Einfluss auf die Bodentemperatur, auf die Temperatur der Substratoberfläche, sowie auf den Deckungsgrad hat und dadurch Stressoren wie Wasserhaushalt und Hitze reduziert werden können.

In diesen Arbeiten konnte aufgezeigt werden, dass der Baumscheibentyp einen Einfluss auf die Bodentemperatur hat. Dies ist aber nicht der einzige Faktor, der die Bodentemperatur beeinflusst. Neben dem Standort könnte das auch der Wasserhaushalt sein, der auch durch die Art der Wässerung, stark beeinflusst wird. Während bei einem Regenereignis wichtig ist, wie und ob das Wasser in die Baumscheibe gelangt, ist es beim Wässern wichtig, wie und wann dies geschieht. Wird mit Grundwasser gegossen, ist dies oft weniger als 10 °C warm. Je nach Baumtyp kann dies zu einer zu kühlen Bodentemperatur führen, welcher das Wurzelwachstum hemmt. Wird dabei ein Giessring verwendet, resultiert eine einseitige Temperaturveränderung in der Baumscheibe. Wird dagegen die ganze Baumscheibe gleichmässig gewässert, kann die Baumscheibe dadurch abgekühlt werden und der Baum wird motiviert für das Wurzelwachstum die ganze Baumscheibe zu nutzen. Erfolgt die Wässerung in den Morgenstunden, ist die Auswirkung des Temperaturschocks auf die Wurzeln geringer und der gewünschte Effekt wirkungsvoller. Wird mit Leitungswasser gewässert, führt dies zu einer Versalzung des Bodens, was einen Versteppungseffekt begünstigt.

Bei der Reduzierung des Wässerns zugunsten einer natürlichen Wässerung mit Regen ist wiederum die Art und Weise, wie Wasser in die Baumscheibe gelangt von Bedeutung. Es spielt aber auch eine Rolle wie schnell es in die Tiefe gelangt und wiederum am Verdunsten gehindert werden kann. Eine mineralische Mulchschicht kann sowohl das Versickern des Wassers begünstigen und gleichzeitig das Wasser am Verdunsten verhindern. Aus dem besseren Wasserrückhalt, resultiert auch eine Kühlung der Baumscheibe. Wird das Substrat feuchtgehalten, wirkt dies kühlend auf die Bodentemperatur und fördert die Photosynthese. Wie aus der Literatur klar ersichtlich ist, ist eine geschlossene Pflanzendecke unentbehrlich, denn die Daten zeigten, dass die Oberflächentemperatur auf der mineralischen Mulchschicht sehr hoch werden kann. Eine geschlossene Pflanzendecke würde auch eine gleichmässige Oberflächentemperatur begünstigen. Weil bei einer geschlossenen Pflanzendecke ein Grossteil der Strahlung von der Vegetation absorbiert wird, ist eine schnelle Schliessung der Vegetationsschicht für die Erhaltung der Baumvitalität zielführend. Dies könnte mit kurzlebigen Arten erreicht werden. Die Funktionalität sollte hier im Vordergrund stehen. Dadurch könnte die Vegetation wesentlich früher einen Einfluss auf die Boden- und Oberflächentemperatur nehmen. Dabei sollten bei der Wahl der Baumscheibenbepflanzung verschiedene Wuchstypen und Lebensbereiche kombiniert werden und die Pflanzung so erfolgen, dass die hochwachsenden

Arten in Stammnähe sind. So kann der Stamm des Jungbaumes bis zum Erreichen einer vollen Krone besser vor Hitzeeinwirkung geschützt werden und in seiner Vitalität unterstützt werden. Für eine bessere Nährstoffversorgung können sogenannte Laubschlucker in der Baumunterpflanzung sorgen. Dort wo die Baumscheibe nicht bepflanzt wurde, kommt der Spontanvegetation eine wichtige Rolle zu. Bei der Pflege sollten dabei nur Problemarten entfernt werden.

Werden Bäume verwendet, die mit Trockenheit besser zurechtkommen, sollte dies schon bei der Planung berücksichtigt und diese Arten an exponierten Lagen gepflanzt werden. Zürich weist zwar höhere Temperaturen als das Umland auf, jedoch mit 1085 mm durchschnittlichem Niederschlag pro Jahr deutlich mehr Niederschlag als es dem Lebensbereich von *Eucommia ulmoides* entspricht. In der Stadt haben Gebäude durch ihre Beschattung Einfluss auf den Baumstandort. So ist zu überlegen, wo Bäume für warme Böden gepflanzt werden können und wo eher kühlere Standorte sind.

Mit den erläuterten Massnahmen liessen sich die Stressoren eines Stadtbaumes reduzieren und seine Vitalität erhalten oder gar steigern und somit bei Neupflanzungen schneller der gewünschte Effekt der Baumpflanzung erreichen.

## Literaturverzeichnis

- Ahrens, A. (1985). Verlauf der Stickstoff-Mineralisierung im Boden in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit. *Zentralblatt für Mikrobiologie*, 140, 175–181.
- Bernatzky, A. (1994). *Baumkunde und Baumpflege* (5., erw. Aufl). Thalacker.
- Blatter, A. (2015). *Räumliche und zeitliche Unterschiede von Nadellängen und Jahrringbreiten im Engadin—Die Analyse eines mehrjährigen Datensatzes*. Zürich.
- Bouillon, J. M. (Hrsg.). (2013). *Handbuch der Staudenverwendung: Empfehlungen für Planung, Anlage und Management von Staudenpflanzungen ; 25 Tabellen*. Ulmer.
- Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz. (2020, August 7). *Meteo Schweiz*. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz. [https://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/climate-time-series-processing/day-mean/SMA/dailyevol\\_daymean\\_SMA\\_2020\\_G.pdf](https://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/climate-time-series-processing/day-mean/SMA/dailyevol_daymean_SMA_2020_G.pdf),
- Climate-Data. (2020). *Daten und Graphen zum Klima und Wetter für Würzburg* [Webseite für Klima- und Wetterdaten]. Climate-Data.org. <https://de.climate-data.org/europa/deutschland/bayern/wuerzburg-166/#climate-graph>
- Cran R-Studio. (2020). *Cran R-Studio* [Webseite für das Opensourceprogramm R]. The Comprehensive R Archive Network. <https://cran.rstudio.com>
- Defila & Brändli. (1989). *Bodentemperatur und Verdunstung 1951-1985* (Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Zürich, Hrsg.).
- Dobbertin, M., & Giuggiola, A. (2006). *Baumwachstum und erhöhte Temperaturen*. 35–45.
- Fries, M. (1985). *Bodenkundliche Studien unter einem Caricetum firmæ auf dem Munt La Schera im schweizerischen Nationalpar*. Zürich.
- Gisi, U. (Hrsg.). (1997). *Bodenökologie: 51 Tabellen* (2., neu bearb. und erw. Aufl). Thieme.
- Gitto, S., Znajie, F., Shilong, Z., Bo, W., Xin, G., Guoxin, F., Yuling, D., Kai, L., Kangwei, L., Cijung, P., & Weidong, G. (2020, Mai 27). Anti-Inflammatory and Antioxidant Effect of Eucommia ulmoides Polysaccharide in Hepatic Ischemia-Reperfusion Injury by Regulating ROS

and the TLR-4-NF- $\kappa$ B Pathway. *Hindawi - BioMed Research International*, Volume 2020, Page 11.

Gulde, R. (2020). *Die Forstpflanzen* [Baumschule]. die-Forstpflanzen.de. <https://www.die-forstpflanze.de/guttaperchabaum-eucommia-ulmoides/>

Gur, A., Hepner, J., & Shulman, Y. (1979). The Influence of Root Temperature on Apple Trees. IV. The Effect on the Mineral Nutrition of the Tree. *Journal of Horticultural Science*, 54. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00221589.1979.11514888>

Hauenstein. (2020). *Rotahorn-Acer rubrum* [Baumschule]. Hauenstein-rafz.ch. <https://www.hauenstein-rafz.ch/de/pflanzenwelt/pflanzenportrait/laubgehoeelze/Rotahorn-Acer-rubrum.php>

Hellberg-Rode, G. (2004). *Bodentemperatur* [Lernwebsite der Universität Münster]. Hyper-soil. <https://hypersoil.uni-muenster.de/0/05/04.htm>

Helm, M. (1995). *Prozessführung bei der Kompostierung von organischen Reststoffen aus Haushalten* [Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)]. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/820251/820251.pdf>

Hossien, Y. K. (1987). *Einfluss der Faktoren NaCl-Versalzung, Boden- Wasserregim und Bodentemperatur auf Wachstum, Nährstoffaufnahme und Proteingehalt von Weizen und Gerste in Reinkultur und in Mischkultur mit Perserklee* [Dissertation aus dem Institut für Pflanzenbau und Tierhygiene in den Tropen und Subtropen]. Georg-August-Universität.

IDAWEB. (2020). *Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz* [Datenbank des Bundes für Wetterdaten]. Meteo Schweiz IDAWEB. <https://gate.meteoswiss.ch/ida-web/login.do?idaweb=AOD3-WPqVygjPNTTrTIPyavqBzLtTUltrlvGmtZ65wq6DEfr4vtLW!-1530571044>

Kantharajah, A. S. (1985). *Einfluss von Bodentemperatur und Bodenfeuchte auf das vegetative und generative Wachstum von Passiflora edulis f. Edulis (Passionsfrucht)*. Technische Universität Berlin.

Kattge, J. (2002). *Zur Bedeutung von Stickstoff für den CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt* [Erlangung des Dokortitels in der Naturwissenschaft (Fachbereich Biologie), Justus-Liebig-Universität].

<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2002/794/pdf/d020094.pdf>

Kiemeier, P. (1995). *Die Lebensbereiche der Gehölze—Eingeteilt nach dem Kennziffernsystem* (3. Auflage).

Köppen, W. (2011). The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and to the impact of heat on the organic world. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(3), 351–360. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2011/105>

Ley, M., & Ley, W. (2020). *Rotahorn somerset, Acer rubrum somerset* [Baumschule]. Ley Baumschule. <https://pflanzenkatalog.ley-baumschule.de/de-de/artikel/26631/acer-rubrum-somerset>

LWG, B. L. für W. und G. (Hrsg.). (2019). *Stadtbaumarten im Klimawandel*. [https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/stadtgruen\\_falzflyer\\_in.pdf](https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/stadtgruen_falzflyer_in.pdf)

Lyr, H. (Hrsg.). (1992). *Physiologie und Ökologie der Gehölze: Mit 85 Tabellen*. Fischer.  
Merkel, A. (2020, August 7). *Climate-data.org*. Klima Zürich. <https://de.climate-data.org/europa/schweiz/zuerich/zuerich-2110/>

Missouri Botanical Garden. (n.d.). *Missouri Botanical Garden—Gardening Help* [Fachseite des Botanischen Gartens Missouri]. Missouri Botanical Garden. <http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?kempercode=a864>

Riethmann, O. (1933). Der Einfluss der Bodentemperatur auf das Wachstum und die Reifezeit der Tomaten. *Band (Jahr): Heft 1 Riethmann, Otto Article Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft*, 42(Heft 1). <http://doi.org/10.5169/seals-28396>

Spektrum. (1999). *Calcium* [Fachinformationen für die Lehre]. Spektrum.de. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/calcium/11611>

Spektrum. (2001). *Kalium, Zink* [Fachinformationen für die Lehre]. Spektrum.de. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/kalium/6164>

Stahr, K., Kandeler, Ellen, Hermann, Ludger, & Streck, Thilo. (2012). *Bodenkunde und Standortlehre: [Grundwissen Bachelor]; 42 Tabellen* (2., korr. Aufl). Ulmer.

*Staudenratgeber*. (2020). [Fachinformationen]. Staudenratgeber. <https://stauden-ratgeber.de>

Straub, R. (1964). *Experimentelle Untersuchung über die Abhängigkeit des Wurzelwachstums- beginnes bei Aspensämlingen von der Luft- und Bodentemperatur*. ETH Zürich.

Stüttler, M. (2020, Juli 14). *MRCA - Mushroom Reserch Center Austria* [Forschungszentrum]. MRCA. <http://mrca-science.org/index.php/de/impressum>

Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ. (2011). *Klimaanalyse Stadt Zürich (KLAZ)—Ergenisbericht, Grundlagenarbeiten und Massnahmenvorschläge aus stadtklimatischer Sicht*. [https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie\\_politik/umweltpolitik/klimapolitik.html](https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie_politik/umweltpolitik/klimapolitik.html)

Willig, H.-P. (n.d). *Nitrifikation* [Fachinformationen für die Lehre]. Biologie Seite.

Zuber, R. (2013). *Streusalz: Auswirkungen auf die Stadtbäume* (VSSG, Hrsg.). [http://www.vssg.ch/documents/B\\_StrB\\_Streusalz\\_Auswirkungen\\_Stadtbaeume\\_2013.pdf](http://www.vssg.ch/documents/B_StrB_Streusalz_Auswirkungen_Stadtbaeume_2013.pdf)

## Abbildungsverzeichnis

ABB. 1 NORMWERTKLIMADIAGRAMM VON ZÜRICH. DIE BLAUEN BALKEN ZEIGEN NIEDERSCHLAGSMENGE PRO MONAT UND DIE ROTE LINIE ZEIGT DEN TEMPERATURVERLAUF DES TAGESMITTELS (MERKEL, 2020).....	9
ABB. 2 DAS ERSTE KLIMADIAGRAMM ZEIGT DEN JAHRESVERLAUF DER MITTLEREN TÄGLICHEN LUFTTEMPERATUR IN GRAD. DIE ROTEN WERTE LIEGEN ÜBER DEN NORMWERTEN VON 1981-2010, DIE BLAUEN UNTERHALB. DAS DIAGRAMM IN DER MITTE ZEIGT DIE TÄGLICHEN SONNENSCHINDAUER UND DAS UNTERSTE DIE NIEDERSCHLAGSSUMME (BUNDESAMT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMATOLOGIE METEO SCHWEIZ, 2020).....	11
ABB. 3 KLIMADIAGRAMM VON WÜRZBURG (CLIMATE-DATA, 2020) .....	12
ABB. 4 WÄRMEKAPAZITÄT UND TEMPERATURLEITFÄHIGKEIT DES BODENS IN ABHÄNGIGKEIT DES WASSERHAUSHALTES (STAHN ET AL., 2012).....	19
ABB. 5 MESSPUNKTE FÜR DIE BODENTEMPORATUR FÜR DEN BAUMSCHEIBENTYP A (LINKS) UND BAUMSCHEIBENTYP B (RECHTS) QUELLE: MARC LÖTSCHER.....	26
ABB. 6 EINGTEILUNG DER ÜBERLAPPENDEN SEKTOREN FÜR DIE AUFNAHMEN DER WÄRMEBILDKAMERA QUELLE: MARC LÖTSCHER.....	26
ABB. 7 BOXPLOT DER UNTERSCHIEDLICHEN TEMPERATURMITTELWERTE DER EINZELNEN BAUMSCHEIBEN .....	28
ABB. 8 UNTERSCHIED DER BODENTEMPORATUR NACH BS-TYP .....	29
ABB. 9 ERSICHTLICH IST DIE ENTWICKLUNG DER BODENTEMPORATUR (ROT) UND DES DECKUNGSGRADES (BLAU) ÜBER DEN GESAMTEN MESSZEITRAUM. DEUTLICH ZU SEHEN IST DIE PLÖTZLICHE VERMINDERUNG DES DECKUNGSGRADES WÄHREND DEN WARMEN AUGUSTWOCHEN. ....	30
ABB. 10 VERLAUF DER BODENTEMPORATUR UND DES DECKUNGSGRADES ÜBER DEN GESAMTEN MESSZEITRAUM DER BAUMSCHEIBE NR.10 <sub>B</sub> .....	30
ABB. 11 ENTWICKLUNG DER BODENTEMPORATUR UND DES DECKUNGSGRADES ÜBER DEN GESAMTEN MESSZEITRAUM DER BAUMSCHEIBE NR.12 <sub>A</sub> .....	31
ABB. 12 ENTWICKLUNG DER BODENTEMPORATUR UND DES DECKUNGSGRADES ÜBER DEN GESAMTEN MESSZEITRAUM DER BAUMSCHEIBE NR.13 <sub>A</sub> .....	32



ABB. 13 BOXPLOT DER MEDIANE DES DECKUNGSGRADES NACH BAUMSCHIEBENTYP .....	33
ABB. 14 OBERFLÄCHENTEMPERATUREN DER BAUMSCHEIBENTYPEN.....	34
ABB. 15 OBERFLÄCHENTEMPERATUREN DER EINZELNEN BAUMSCHEIBEN .....	35
ABB. 16 OBERFLÄCHENTEMPERATUR IM ZUSAMMENHANG DES DECKUNGSGRADES. BAUMSCHEIBE NR.8 <sub>B</sub> HAT EINE DECKUNGSGRAD VON 50 %, DER DECKUNGSGRAD VON NR.10 <sub>B</sub> BETRÄGT 75 %, BAUMSCHEIBE NR.12 <sub>A</sub> HAT EINEN DECKUNGSGRAD VON 80 % UND JENER VON BAUMSCHEIBE NR.13 <sub>A</sub> IST 57 %.....	36
ABB. 17 REGENMENGE UND BODENTEMPERATURVERLAUF ÜBER DIE GESAMTEN MESSPERIODE.	39
ABB. 18 LUFTTEMPERATUR UND BODENTEMPERATURVERLAUF IN °C ÜBER DIE GESAMTEN MESSPERIODE .....	40
ABB. 19 BEWÖLKUNG IN % UND BODENTEMPERATURVERLAUF IN °C ÜBER DIE GESAMTEN MESSPERIODE .....	41
ABB. 20 GLOBALSTRAHLUNG IN W/M <sup>2</sup> UND BODENTEMPERATURVERLAUF IN °C ÜBER DIE GESAMTEN MESSPERIODE.....	42
ABB. 21 BEISPIEL FÜR DIE BEWIRTSCHAFTUNG DER BAUMSCHEIBE NR.10 <sub>B</sub> . LINKS AM 03.08.20, RECHTS AM 10.08.20. FOTO: MARC LÖTSCHER .....	43
ABB. 22 WÄRMEBILDAUFNAHMEN DER BAUMSCHEIBE NR.8 <sub>B</sub> (OBEN LI), NR.10 <sub>B</sub> (OBEN RECHTS), NR.12 <sub>A</sub> (UNTEN LI) UND NR.13 <sub>A</sub> (UNTEN RECHTS). ABGEBILDET IST JEWEILS DER QUADRANT S6, WO DER STAMMFUSS DER JUNGBÄUME UND DIE UMLIEGENDE BODENBEDECKUNG MIT PFLANZEN, MULCHSCHICHT ODER ZÜRCHER BAUMSUBSTRAT ZU SEHEN IST. FOTO: MARC LÖTSCHER.....	44

## **Tabellenverzeichnis**

TABELLE 1 TEMPERATURMAXIMUM UND -MINIMUM DER JEWEILIGEN BAUMSCHEIBEN .....	35
--	----

### **Anhangsverzeichnis**

Anhang A:	Aufgabenstellung	S. 55
Anhang B:	Wärmebilder der Oberflächentemperatur	S.58
Anhang C:	Bilder der Baumscheiben in chronologischer Aufreihung	S. 70
Anhang D:	Plan der Langensteinenstrasse	S. 75
Anhang E:	R-Skript der Oberflächentemperatur	S 76
Anhang F:	R-Skript Draufbereich	S. 84
Anhang G:	Erklärung betreffend Selbstständiger Verfassung einer BA	S. 88

## Anhang A

### Aufgabenstellung

<b>Studienjahrgang</b>		
<b>Titel</b>	<b>Resiliente heimische krautige Baumscheibenunterpflanzungen im urbanen Raum</b>	
<b>Vertraulich</b>	ja <input type="checkbox"/> X nein <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Fachgebiet</b>	Pflanzenverwendung	
<b>Namen</b>	StudentIn	Marc Lötscher
	1. KorrektorIn	Axel Heinrich
	2. KorrektorIn	Andrea Gion Saluz
	3. KorrektorIn	Tal Hertig
<b>Aufgabenstellung</b>	<p>Zur Erhaltung der Baumvitalität, konzentriert sich die Aufmerksamkeit vor allem auf den Boden selbst. Der Boden wird dabei kaum beachtet. Dieser ist aber die Grundlage eines Baumstamms und massgeblich für die Vitalität des Gehölzes mitverantwortlich.</p> <p>An der Langensteinstrasse in Zürich werden 32 Klimawandelbäume gepflanzt und mit heimischen Stauden unterpflanzt. Die Bäume werden dort in das „Zürcher Baumsubstrat“ gepflanzt. Es besteht aus 8 Bäumen, die eine 5cm, 10cm und 15cm mineralische Mulchschicht den Abschluss bilden. Bei 8 Bäumen bildet das „Zürcher Substrat“ mit einer Gitterabdeckung den Abschlussbereich.</p> <p>Vier der Baumscheiben sollen nun in 3 Settings untersucht.</p> <p>Dabei wird die Hitzeentwicklung auf der Oberfläche des Substrates gemessen. Diese Messung erfolgt mit einer Wärmebildkamera.</p> <p>Mit einem analogen Bodentemperaturmessgerät wird die Temperatur in 30 cm tiefe gemessen. Mit der Braun-Blanquet-Methode wird der Deckungsgrad ermittelt.</p> <p>Ziel ist es herauszufinden, in welchem Substrat sich am besten eine bodendeckende Staudenunterpflanzung entwickelt und ob diese einen Einfluss auf die Boden- und Oberflächentemperatur hat, damit diese zur Erhaltung der Vitalität der Bäume dient und somit zur Kühlung der Stadt und der Förderung der Biodiversität beiträgt.</p> <p>Die Fragestellungen lauten wie folgt:</p>	

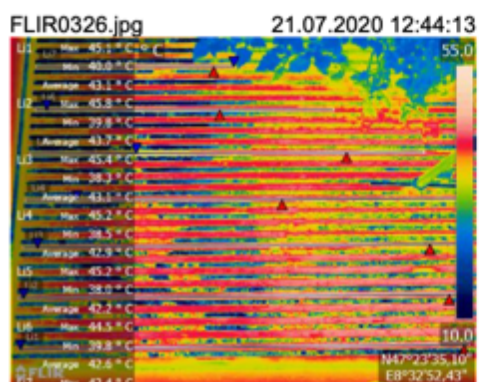
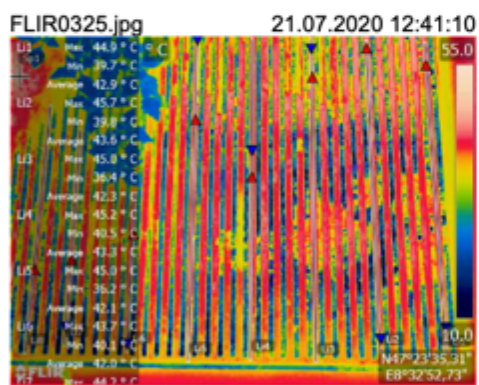
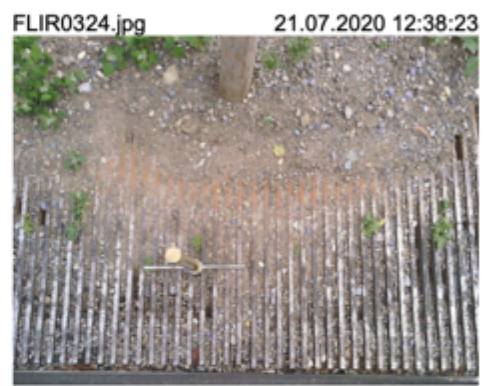
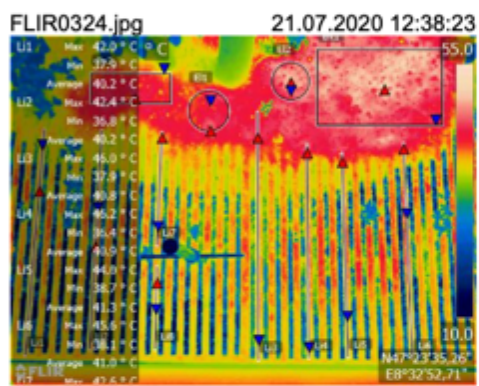
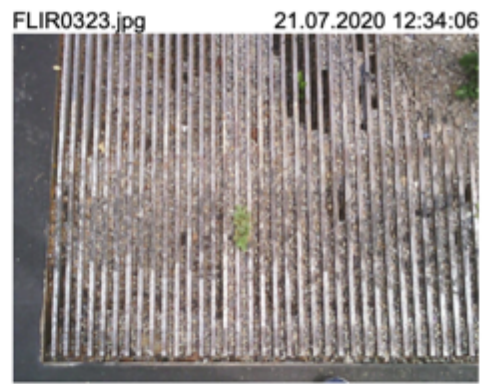
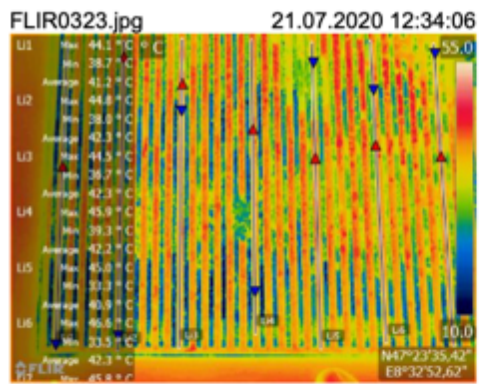
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gibt es eine unterschiedliche Temperaturentwicklung zwischen den Baumscheiben mit mineralischer Mulchschicht und ohne Gitterabdeckung und den Baumscheiben ohne mineralische Mulchschicht und mit Gitterabdeckung im Zürcher Baums substrat in 30cm Tiefe?</li> <li>• Gibt es eine unterschiedliche Temperaturentwicklung des Draufbereichs zwischen den Baumscheiben mit mineralischer Mulchschicht und ohne Gitterabdeckung und den Baumscheiben ohne mineralische Mulchschicht und mit Gitterabdeckung?</li> <li>• Hat der Deckungsgrad der Vegetation einen Einfluss auf die Bodentemperatur in 30cm Tiefe?</li> <li>•</li> </ul>
<b>Formale Anforderungen</b>	Alle relevanten <a href="#">Merkblätter</a> zu studentischen Arbeiten
<b>Zeitplan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Literaturrecherche und Schreiben ab KW 9</i></li> <li>- <i>Einführung KW 10</i></li> <li>- <i>Einführung Messgeräte KW 13</i></li> <li>- <i>1. Messung KW 19</i></li> <li>- <i>Verarbeitung der Resultate 1. Messung KW 20</i></li> <li>- <i>2. Messung KW 25</i></li> <li>- <i>Verarbeitung der Resultate 2. Messung KW 26</i></li> <li>- <i>3. Messung KW 35</i></li> <li>- <i>Verarbeitung der Resultate 3. Messung KW36</i></li> <li>- <i>Schreiben der Ergebnisse und Diskussion ab KW 37</i></li> </ul>
<b>Abgabetermin (Tag und Uhr)</b>	14.01.2021
<b>Bemerkungen</b>	
<b>Arbeitsort</b>	Zürich und Wädenswil

Plagiate verstossen gegen die Urheberrechte, eine Verletzung dieser Rechte wird gemäss der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge der Hochschule Wädenswil vom 01.09.2006 in § 38, 39 geregelt. Diese Studien- und Prüfungsordnung gilt für alle Bachelorstudienjahrgänge bis und mit Studienstart 2009.

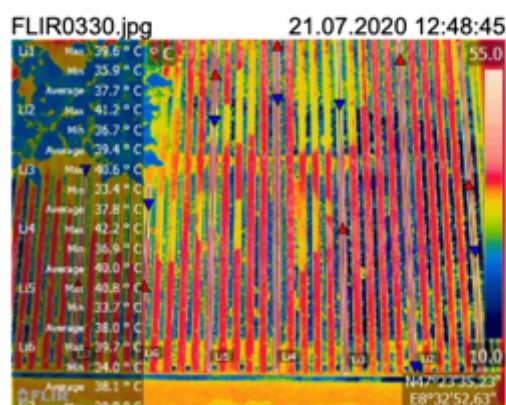
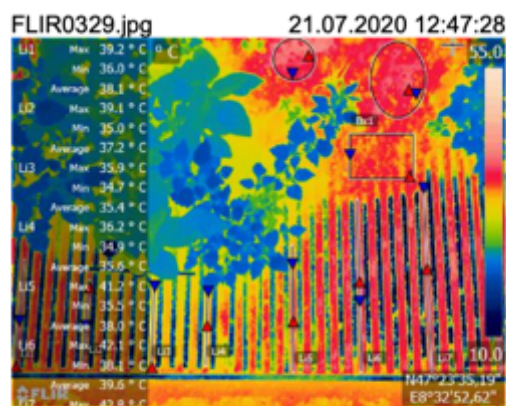
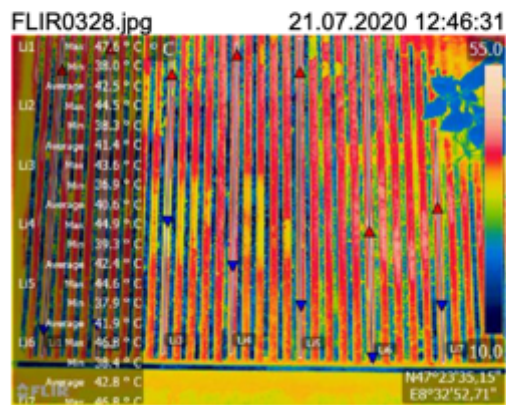
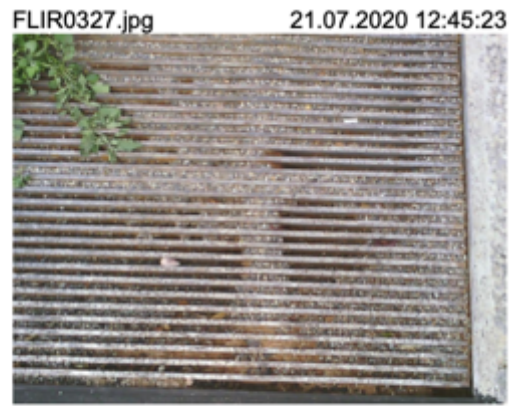
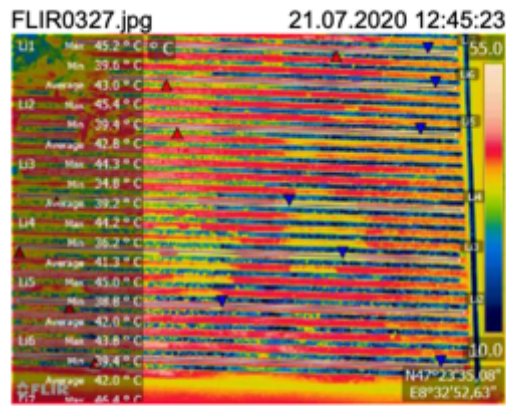
Für Bachelorstudienjahrgänge mit Studienbeginn ab 2010 und die Masterstudiengänge mit Studienbeginn ab 2009 gilt § 39 der Rahmenprüfungsordnung für Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29.01.2008.

## Anhang B

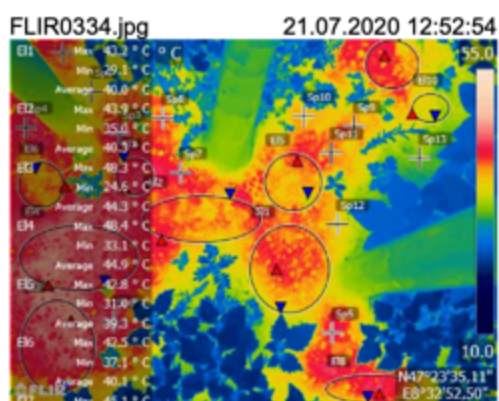
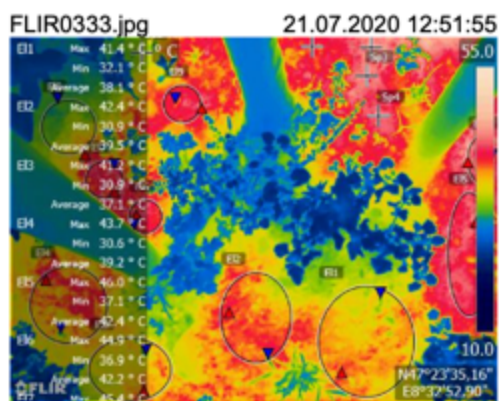
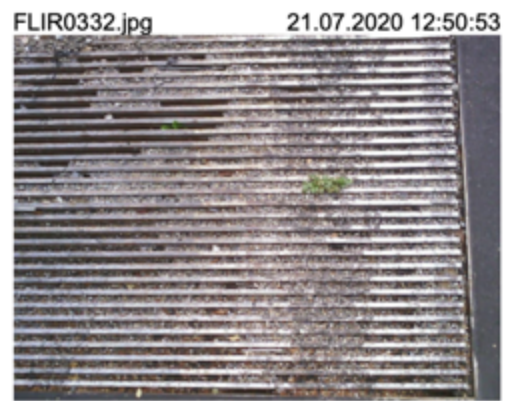
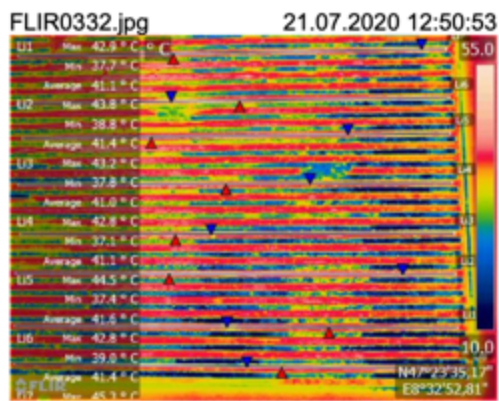
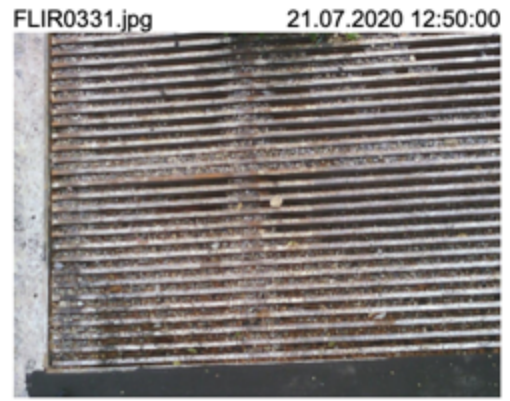
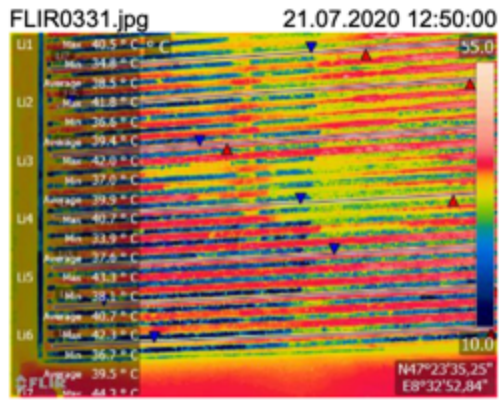
### Wärmebilder der Oberflächentemperatur



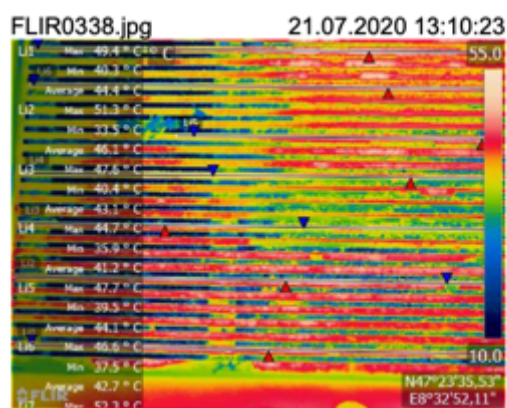
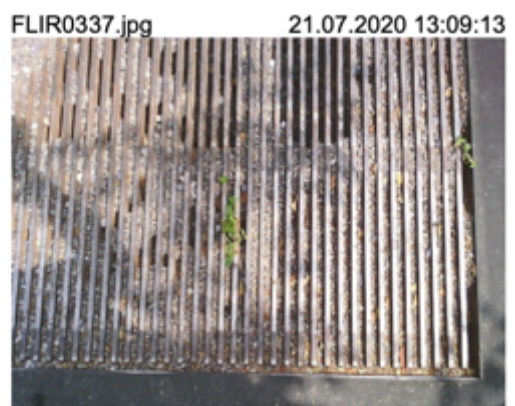
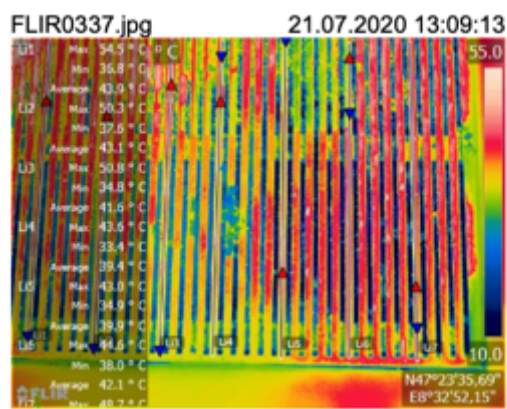
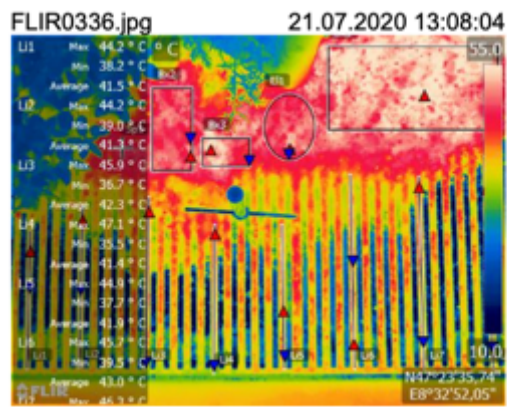
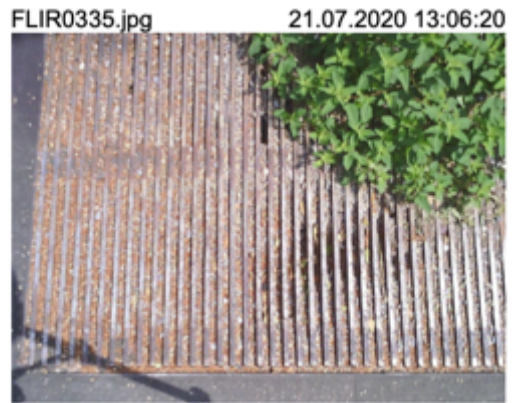
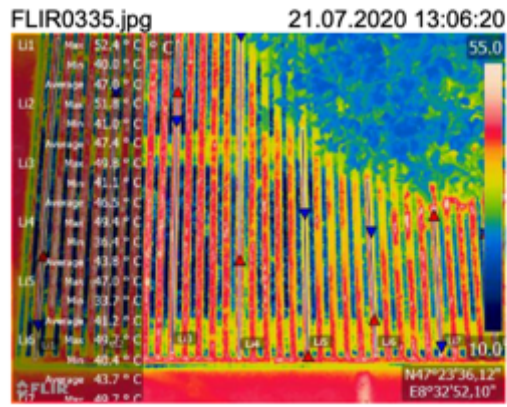




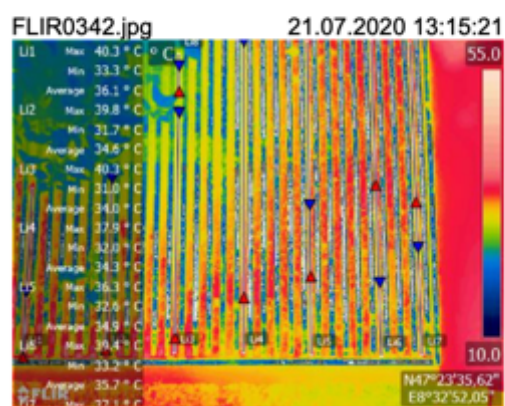
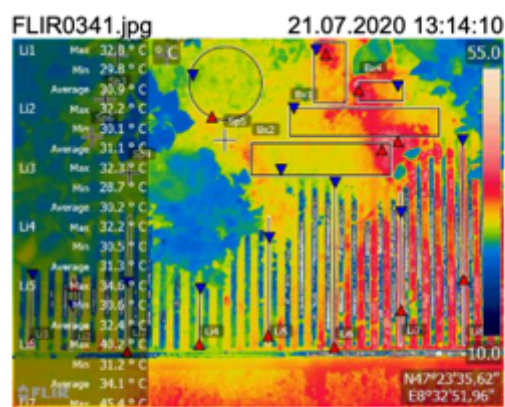
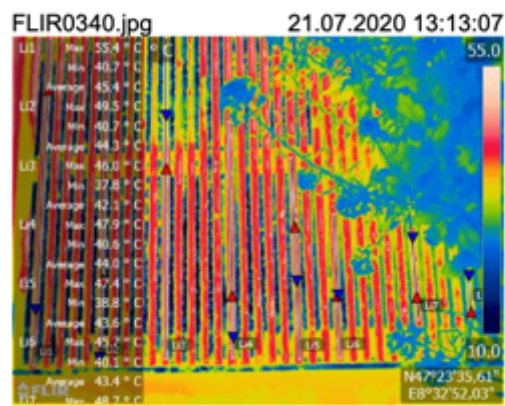
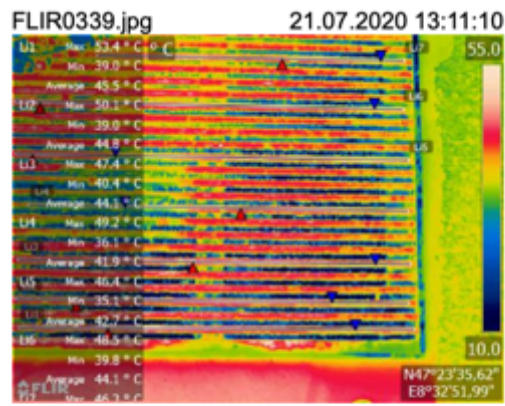




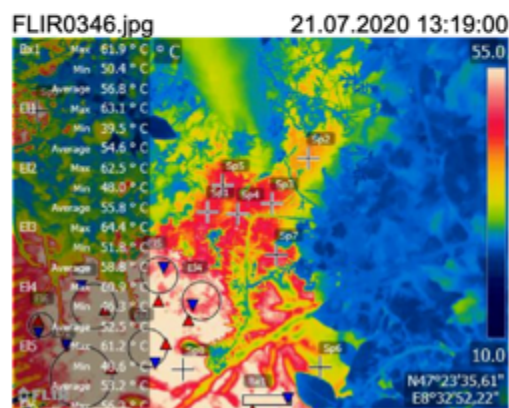
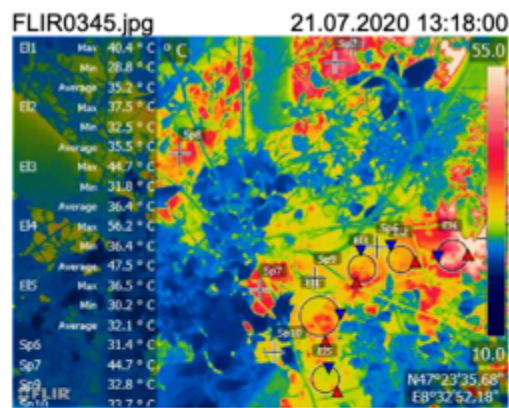
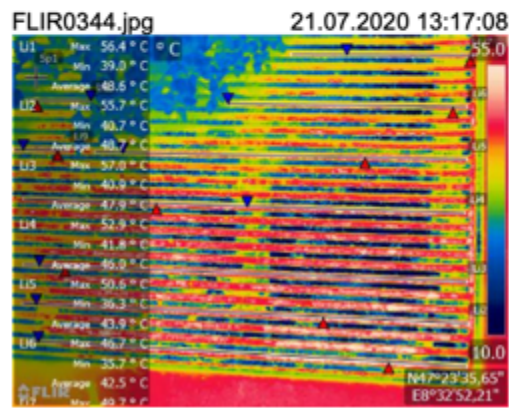
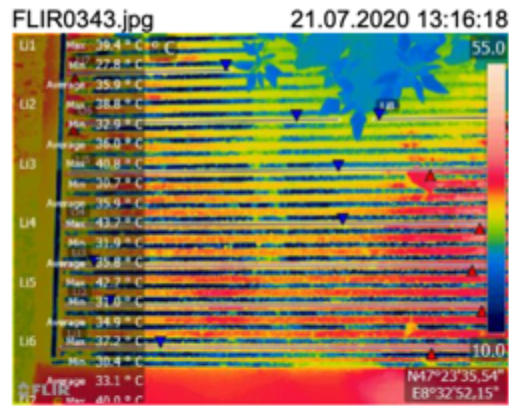




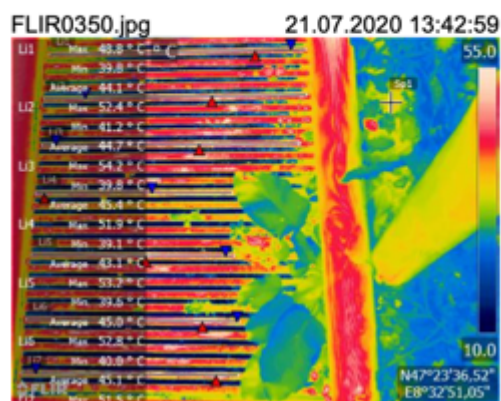
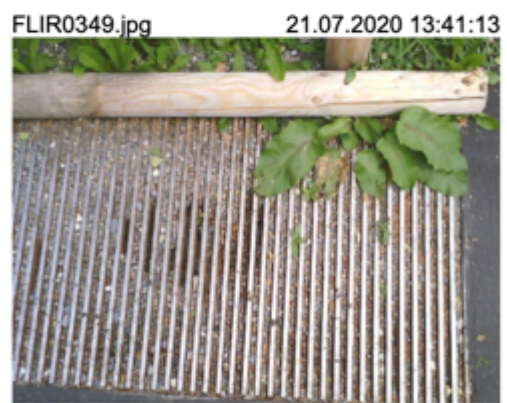
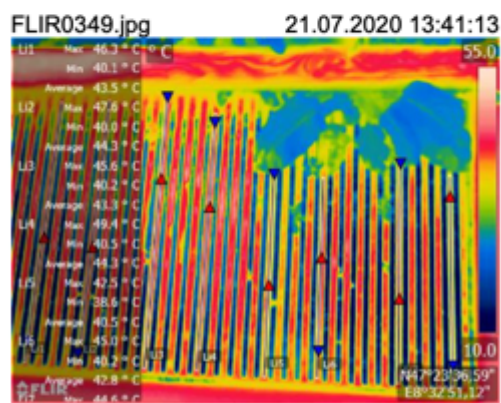
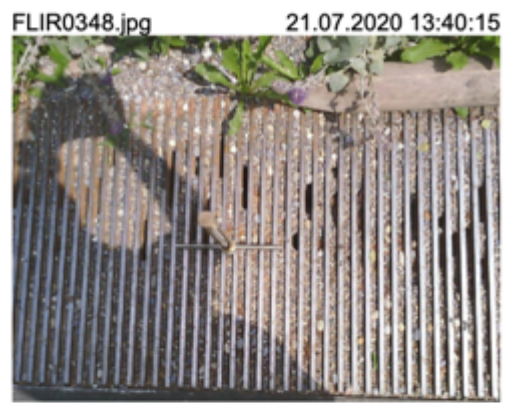
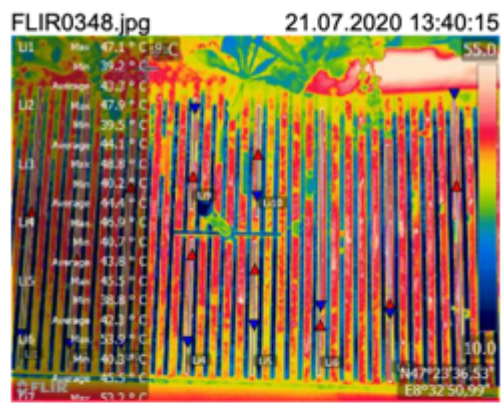
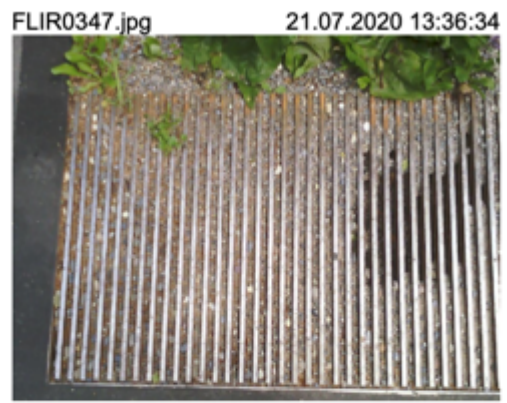
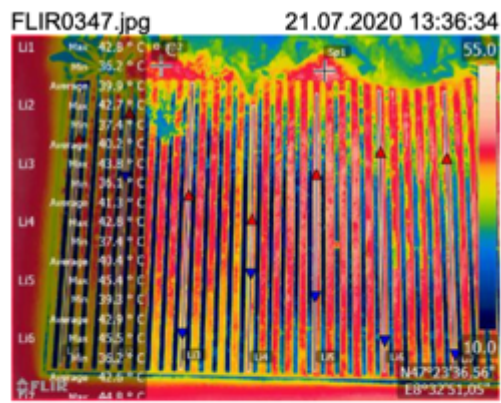




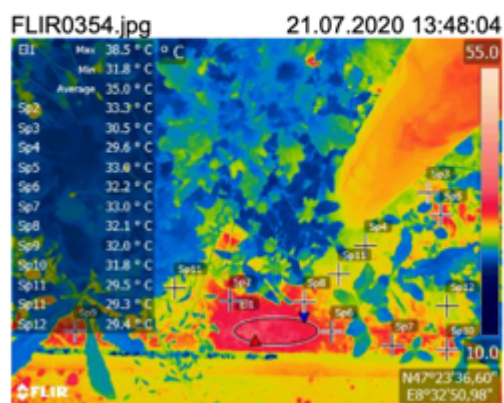
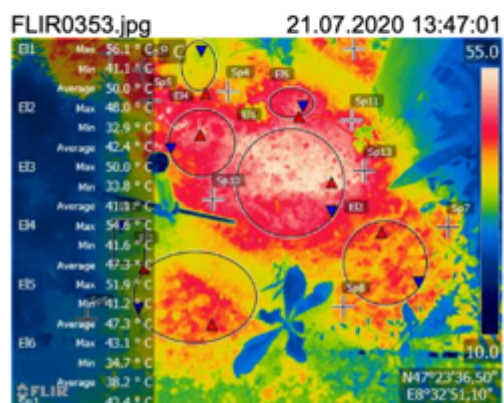
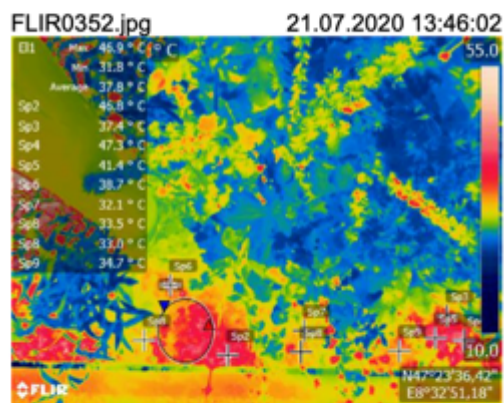
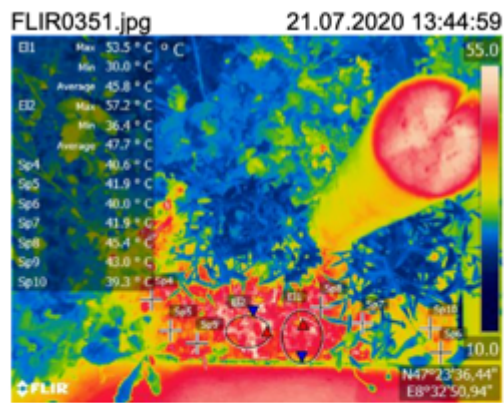




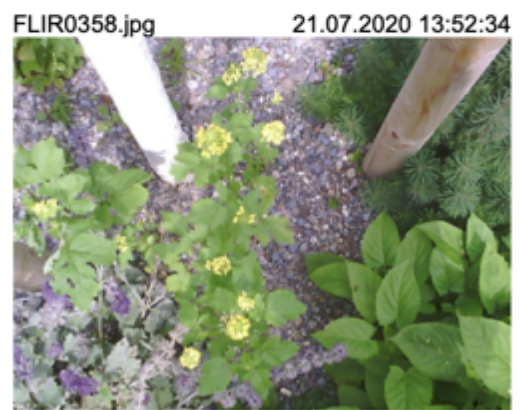
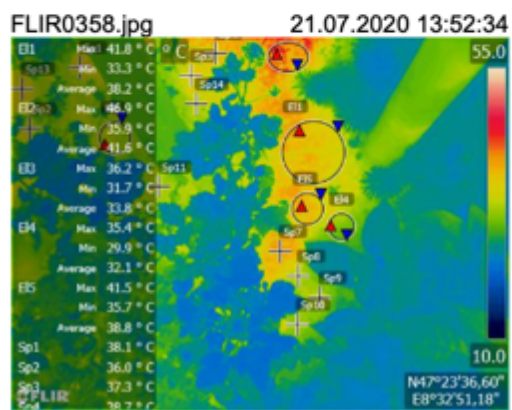
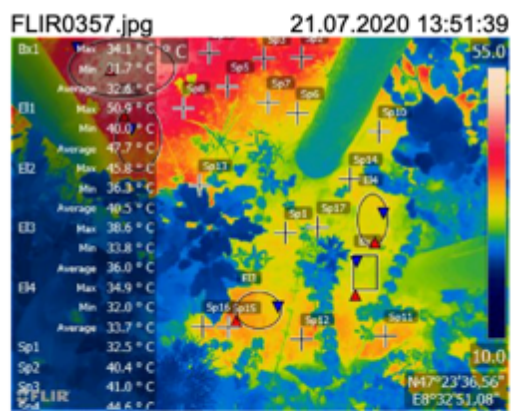
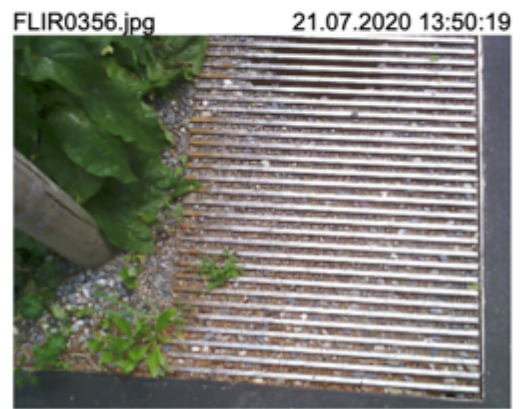
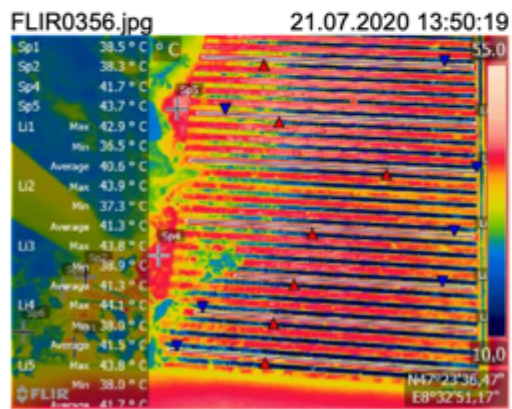
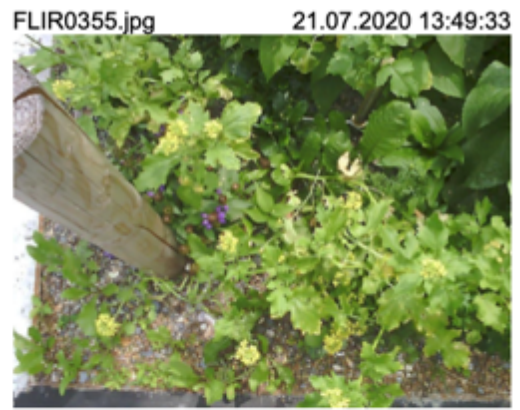
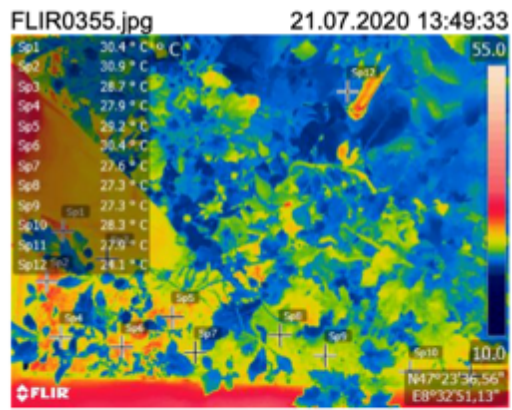






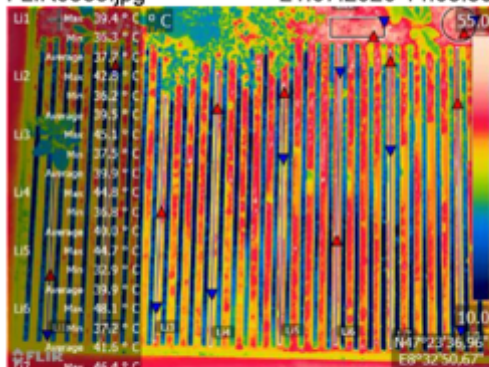








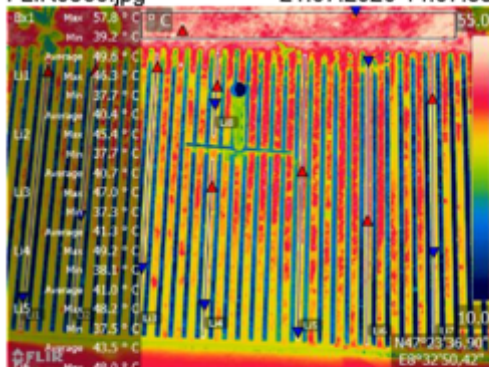
FLIR0359.jpg 21.07.2020 14:05:50



FLIR0359.jpg 21.07.2020 14:05:50



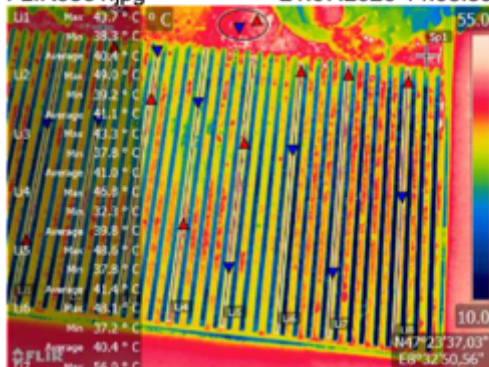
FLIR0360.jpg 21.07.2020 14:07:33



FLIR0360.jpg 21.07.2020 14:07:33



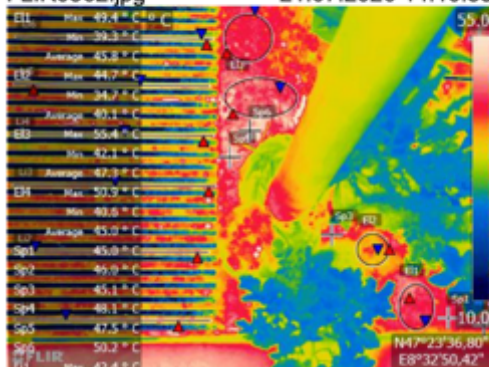
FLIR0361.jpg 21.07.2020 14:08:39



FLIR0361.jpg 21.07.2020 14:08:39



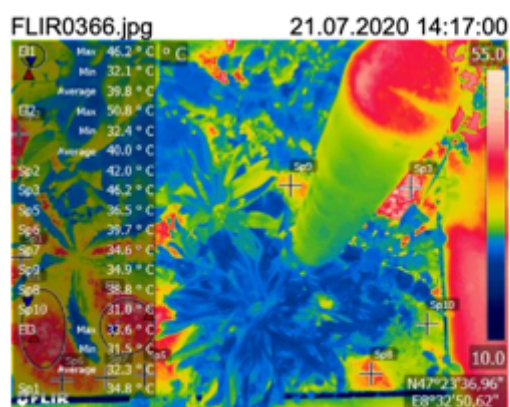
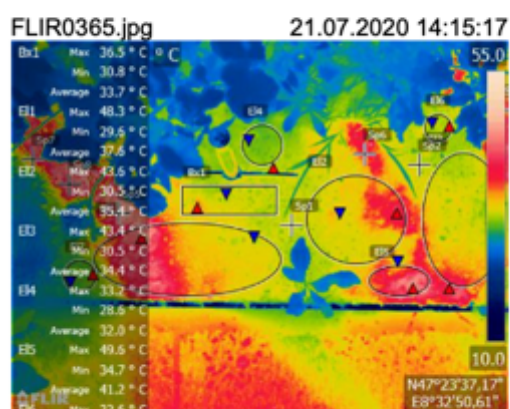
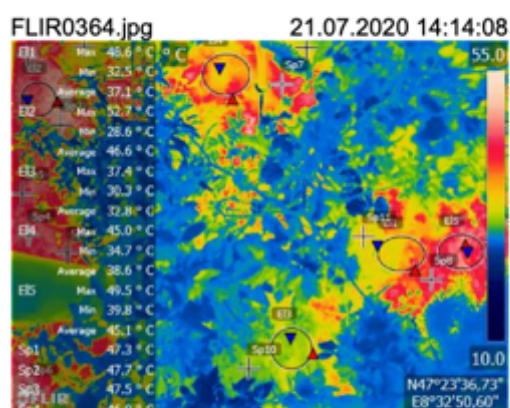
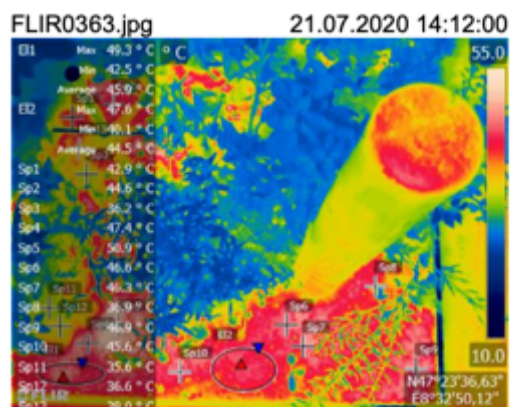
FLIR0362.jpg 21.07.2020 14:10:53



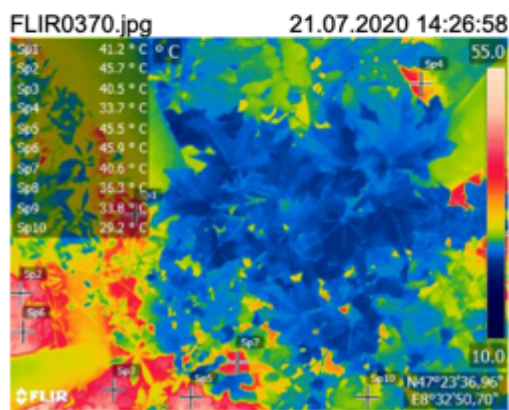
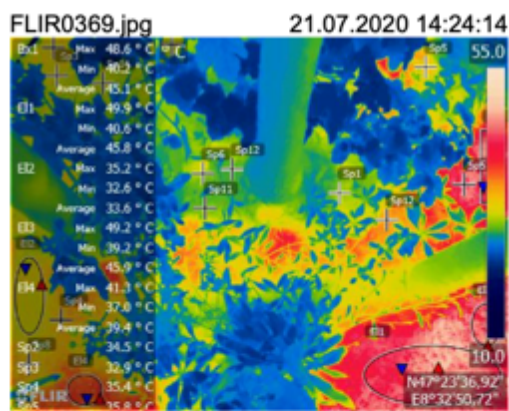
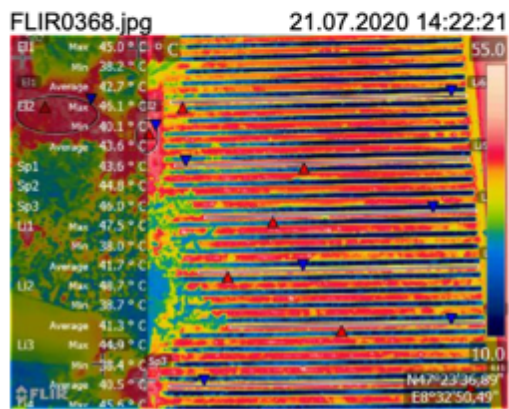
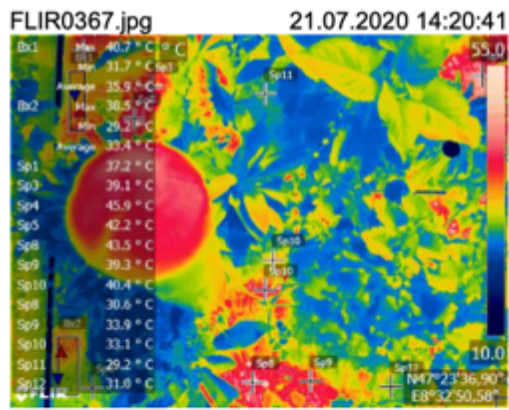
FLIR0362.jpg 21.07.2020 14:10:53











## Anhang C

### Bilder der Baumscheiben in chronologischer Aufreihung

Juni 2020



BS8



BS10



BS12



BS13



Juli 2020



BS8



BS10



BS12



BS13

03. August 2020



BS8



BS10



BS12



BS13

10. August 2020



BS8



BS10



BS12



BS13



September 2020



BS8



BS10



BS12



BS13

## Plan der Langensteinenstrasse

[illegible]

Feature/Issue	Backend	Frontend	Difference
Autopopulate "Waste Zone"	14	13	-1
Autopopulate "Waste Zone"	28	28	0
⚙️ Features	1	1	0

South - East	Westward	Prophet	Salute When	New planet	Differing
Salute	33	0	33	33	-1

Blume sind wertvolle Bestandteile des Stadtraums. Sie erfüllen ökologische, gestalterische und soziale Aufgaben. Zuerstungen des öffentlichen Grundes werden mit größtmöglicher Rücksicht auf den Baumbestand ausgeführt. Unverzichtbare Fähigkeiten basieren auf einer fachlichen Beurteilung.



**Anhang E****R-Skript der Oberflächentemperatur**

```
library(readr)
BS_Temp_R <- read_delim("~/Desktop/BS_Temp_R.txt",
                        "\t", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)

View(BS_Temp_R)
library(moments)
library(dunn.test)

str(BS_Temp_R)

BS_Temp_R$Baumscheibe<-as.factor(BS_Temp_R$Baumscheibe)
BS_Temp_R$Quadrant<-as.factor(BS_Temp_R$Quadrant)
BS_Temp_R$Datum<-as.Date(BS_Temp_R$Datum,format='%d.%m.%y')

# Stunden Korrigieren

ZeitStunden<-round(BS_Temp_R$Zeit,0)
ZeitMinuten<-round((BS_Temp_R$Zeit-ZeitStunden)*100,1)
Zeit<-paste(ZeitStunden,ZeitMinuten,sep=":")

mydate = as.POSIXct(paste(as.character(BS_Temp_R$Datum),Zeit,sep=" "))

# Zurueck ins Datum schreiben

BS_Temp_R$Datum<-mydate

str(BS_Temp_R)

# "Vergleich Baumscheiben"
# "hat die Baumscheibe einen Effekt auf die TempVerteilung"

aovres<-aov(Bodentemperatur~Baumscheibe, data = BS_Temp_R)
```

```
summary(aovres)
shapiro.test(rstandard(aovres))

# ANOVA nicht anwendbar -> Kruskal-Wallis

# Kruskal-Wallis

kw<-kruskal.test(BS_Temp_R$Bodentemperatur~BS_Temp_R$Baumscheibe)
kw

dunn<-dunn.test(BS_Temp_R$Bodentemperatur,BS_Temp_R$Baumscheibe)

boxplot(BS_Temp_R$Bodentemperatur~BS_Temp_R$Baumscheibe, main="Temperatur
Baumscheiben", ylab="Bodentemperatur",xlab="Baumscheibe")

# Temperatur "Vergleich Typ"

modeTyp<-aov(Bodentemperatur~Typ, data = BS_Temp_R)
shapiro.test(rstandard(modeTyp))
summary(modeTyp)
boxplot(BS_Temp_R$Bodentemperatur~BS_Temp_R$Typ,main="Unterschied Bodentem-
peratur nach BS-Typ", ylab="Bodentemperatur",xlab="Baumscheibentyp",names=c("Typ A",
"Typ B"))

# ANOVA nicht anwendbar -> Kruskal-Wallis

# Kruskal-Wallis

kwtyp<-kruskal.test(BS_Temp_R$Bodentemperatur, BS_Temp_R$Typ)

kwtyp

boxplot(BS_Temp_R$Bodentemperatur~BS_Temp_R$Typ)

tapply(BS_Temp_R$Bodentemperatur, BS_Temp_R$Typ,median)
```

```
# "vergleich Deckungsgrad und Typ"
```

```
modeDeckungsgrad<-aov(Bodentemperatur~Deckungsgrad, data=BS_Temp_R)  
summary(modeDeckungsgrad)
```

```
shapiro.test(rstandard(modeDeckungsgrad))
```

```
# "Korrelation zwischen Deckungsgrad und Bodentemperatur"
```

```
Deckung<-(BS_Temp_R$Deckungsgrad)
```

```
Bodent<-(BS_Temp_R$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(BS_Temp_R$Deckungsgrad,BS_Temp_R$Bodentemperatur,method="pearson")
```

```
cor.test(Typ_A$Deckungsgrad,Typ_A$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_B$Deckungsgrad,Typ_B$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(BS8$Deckungsgrad,BS8$Bodentemperatur,method="pearson")
```

```
cor.test(BS10$Deckungsgrad,BS10$Bodentemperatur,method="pearson")
```

```
cor.test(BS12$Deckungsgrad,BS12$Bodentemperatur,method="pearson")
```

```
cor.test(BS13$Deckungsgrad,BS13$Bodentemperatur,method="pearson")
```

```
# "Korrelation zwischen Regen und Bodentemperatur"
```

```
cor.test(BS_Temp_R$Regenmenge,BS_Temp_R$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_A$Regenmenge,Typ_A$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_B$Regenmenge,Typ_B$Bodentemperatur)
```

```
# "Korrelation zwischen Lufttemp und Bodentemperatur"
```

```
cor.test(BS_Temp_R$LufttemperaturStunde,BS_Temp_R$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_A$LufttemperaturStunde,Typ_A$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_B$LufttemperaturStunde,Typ_B$Bodentemperatur)
```

```
# "Korrelation zwischen Bewölkung und Bodentemperatur"
```

```
cor.test(BS_Temp_R$Bewoelkung,BS_Temp_R$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_A$Bewoelkung,Typ_A$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_B$Bewoelkung,Typ_B$Bodentemperatur)
```

```
# "Korrelation zwischen Globalstrahlung und Bodentemperatur"
```

```
cor.test(BS_Temp_R$Globalstrahl,BS_Temp_R$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_A$Globalstrahl,Typ_A$Bodentemperatur)
```

```
cor.test(Typ_B$Globalstrahl,Typ_B$Bodentemperatur)
```

```
# "Unterschiede Veg.Entwicklung"
```

```
modeVegetation<-lm(Deckungsgrad~Typ,data=BS_Temp_R)
```

```
summary(modeVegetation)
```

```
shapiro.test(rstandard(modeVegetation))
```

```
kruskal.test(BS_Temp_R$Deckungsgrad,BS_Temp_R$Typ)
```

```
tapply(BS_Temp_R$Deckungsgrad, BS_Temp_R$Typ,median)
```

```
boxplot(BS_Temp_R$Deckungsgrad~BS_Temp_R$Typ)
```

```
boxplot(BS_Temp_R$Deckungsgrad~BS_Temp_R$Typ,main="Unterschied Vegetation nach  
BS-Typ", ylab="Deckungsgrad",xlab="Baumscheibentyp",names=c("Typ A", "Typ B"))
```

```
# "Analyse Baum 1-4"
```

```
BS8<-subset(BS_Temp_R, Baumscheibe == "8")
```

```
BS8
```

```
BS10<-subset(BS_Temp_R, Baumscheibe == "10")
```

```
BS10
```

```
BS12<-subset(BS_Temp_R, Baumscheibe == "12")
```

```
BS12
```

```
BS13<-subset(BS_Temp_R, Baumscheibe == "13")
```

BS13

```
Typ_B<-subset(BS_Temp_R, Typ=="ohneMulchmGitter")
```

Typ\_B

```
Typ_A<-subset(BS_Temp_R, Typ=="mitMulchoGitter")
```

Typ\_A

# "Plots"

# Besser einzelne Graphen und nicht alle in einem Plot

```
ggplot(data = BS8,aes(x=Datum,y=Bodentemperatur))+  
  geom_line(col="red", linetype="dashed")+  
  ggtitle("Bodentemperatur im Messverlauf BS8")+  
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))
```

```
ggplot(data = BS8,aes(x=Datum,y=Deckungsgrad))+  
  geom_line(col="blue", linetype="dashed")
```

```
ggplot(data = BS10,aes(x=Datum,y=Bodentemperatur))+  
  geom_line(col="red", linetype="dashed")
```

```
ggplot(data = BS10,aes(x=Datum,y=Deckungsgrad))+  
  geom_line(col="blue", linetype="dashed")
```

```
ggplot(data = BS12,aes(x=Datum,y=Bodentemperatur))+  
  geom_line(col="red", linetype="dashed")
```

```
ggplot(data = BS12,aes(x=Datum,y=Deckungsgrad))+  
  geom_line(col="blue", linetype="dashed")
```

```
ggplot(data = BS13,aes(x=Datum,y=Bodentemperatur))+  
  geom_line(col="red", linetype="dashed")
```

```
ggplot(data = BS13,aes(x=Datum,y=Deckungsgrad))+
  geom_line(col="blue", linetype="dashed")
```

```
# beide in einem Graph
```

```
scale_factor<-max(BS_Temp_R$Bodentemperatur) / max(BS_Temp_R$Globalstrahl)
```

```
ggplot(data = BS13,aes(x=Datum))+
  ggtitle("Bodentemperatur und Globalstrahlung BS13")+
  geom_line(aes(y=Bodentemperatur),col="red", linetype="dashed")+
  geom_line(aes(y=Globalstrahl* scale_factor),col="blue", linetype="dashed")+
  scale_y_continuous(name="Bodentemperatur", sec.axis=sec_axis(~./scale_factor,
name="Globalstrahlung"))+
  theme(
    axis.title.y.left=element_text(color="red"),
    axis.text.y.left=element_text(color="red"),
    axis.title.y.right=element_text(color="blue"),
    axis.text.y.right=element_text(color="blue"),
    plot.title = element_text(color = "black",hjust=0.5)

  )
```

```
#Bewölkung und Bodentepmeratur
```

```
scale_factor<-max(BS_Temp_R$Bodentemperatur) / max(BS_Temp_R$Bewoelkung)
```

```
ggplot(data = BS13,aes(x=Datum))+
  ggtitle("Bodentemperatur und Bewoelkung BS13")+
  geom_line(aes(y=Bodentemperatur),col="red", linetype="dashed")+
  geom_line(aes(y=Bewoelkung* scale_factor),col="blue", linetype="dashed")+
  scale_y_continuous(name="Bodentemperatur", sec.axis=sec_axis(~./scale_factor,
name="Bewoelkung"))+
  theme(
    axis.title.y.left=element_text(color="red"),
    axis.text.y.left=element_text(color="red"),
    axis.title.y.right=element_text(color="blue"),
    axis.text.y.right=element_text(color="blue"),
    plot.title = element_text(color = "black",hjust=0.5)
```

)

# Bodentemperatur und Regenmenge

scale\_factor<-max(BS\_Temp\_R\$Bodentemperatur) / max(BS\_Temp\_R\$Regenmenge)

ggplot(data = BS13,aes(x=Datum))+

ggtitle("Bodentemperatur und Regenmenge BS13")+

geom\_line(aes(y=Bodentemperatur),col="red", linetype="dashed")+

geom\_line(aes(y=Regenmenge\* scale\_factor),col="blue", linetype="dashed")+

scale\_y\_continuous(name="Bodentemperatur", sec.axis=sec\_axis(~./scale\_factor,  
name="Regenmenge"))+

theme(

axis.title.y.left=element\_text(color="red"),

axis.text.y.left=element\_text(color="red"),

axis.title.y.right=element\_text(color="blue"),

axis.text.y.right=element\_text(color="blue"),

plot.title = element\_text(color = "black",hjust=0.5)

)

# Bodentemperatur und Lufttemp Plot

scale\_factor<-max(BS\_Temp\_R\$Bodentemperatur) / max(BS\_Temp\_R\$Lufttempera-  
turStunde)

ggplot(data = BS13,aes(x=Datum))+

ggtitle("Bodentemperatur und Lufttemperatur BS13")+

geom\_line(aes(y=Bodentemperatur),col="red", linetype="dashed")+

geom\_line(aes(y=LufttemperaturStunde\* scale\_factor),col="blue", linetype="dashed")+

scale\_y\_continuous(name="Bodentemperatur", sec.axis=sec\_axis(~./scale\_factor,  
name="Lufttemperatur"))+

theme(

axis.title.y.left=element\_text(color="red"),

axis.text.y.left=element\_text(color="red"),

axis.title.y.right=element\_text(color="blue"),

axis.text.y.right=element\_text(color="blue"),

plot.title = element\_text(color = "black",hjust=0.5)

)



**Anhang F****R-Skript Draufbereich**

```
library(readr)
BS_Temp_R <- read_delim("~/Desktop/D.txt",
                        "\t", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)
```

```
library(nortest)
library(psych)
library(ggplot2)
library(dunn.test)
```

```
library(readr)
Draufbereich <- read_delim("~/Desktop/Draufbereich.txt",
                           "\t", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)
View(Draufbereich)
```

```
Draufbereich<-read.csv("Draufbereich.txt",header = T,sep="\t")
```

```
names(Draufbereich)
```

```
lev<-levels(Draufbereich$Baumscheibe)
```

```
indices<-which(Draufbereich$Baumscheibe=="")
```

```
k<-1
```

```
indices<-which(Draufbereich$Baumscheibe==lev[k])
```

```
k<-k+1
```

```
indices<-which(Draufbereich$Baumscheibe==lev[k])
```

```
tapply(Draufbereich$Datum,Draufbereich$Baumscheibe,length)
```

```
tapply(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Baumscheibe,median)
```

```
tapply(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Baumscheibe,mean)
```

```
# ANOVA
```

```
resaov<-aov(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Typ)
```

```
resaov
```

```
summary(resaov)
```

```
boxplot(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Typ,main="Oberflaechentemperatur nach BS-Typ", ylab="Oberflaechentemp.",xlab="Baumscheibentyp",names=c("Typ A", "Typ B"))
```

```
# Test auf Normalverteilung
```

```
lillie.test(rstandard(resaov))
```

```
hist(rstandard(resaov))
```

```
# Voraussetzung nicht erfuehlt
```

```
kruskal.test(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Typ)
```

```
dunn.test(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Typ)
```

```
tapply(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Typ,median)
```

```
tapply(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Typ,mean)
```

```
wilcox.test(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Typ)
```

```
dunn.test(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Baumscheibe)
```

```
boxplot(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Baumscheibe,main="Oberflaechentemperatur nach Baumscheibe", ylab="Oberflaechentemp.",xlab="Baumscheiben")
```

## #Maxima und Minima

```
tapply(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Baumscheibe,max)
```

```
tapply(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Baumscheibe,min)
```

## #Vergleich Deckungsgrad und Obertemp

```
mode_Deckungsgrad<-aov(Oberflaechetemperatur~Deckungsgrad, data=Draufbereich)
summary(mode_Deckungsgrad)
```

```
resaov_D<-aov(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Deckungsgrad)
```

```
resaov_D
```

```
summary(resaov_D)
```

```
lillie.test(rstandard(resaov_D))
```

```
hist(rstandard(resaov_D))
```

```
kruskal.test(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Deckungsgrad)
```

```
dunn.test(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Deckungsgrad)
```

```
tapply(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Deckungsgrad,median)
```

```
tapply(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Deckungsgrad,mean)
```

```
wilcox.test(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Deckungsgrad)
```

```
dunn.test(Draufbereich$Oberflaechetemperatur,Draufbereich$Baumscheibe)
```

```
boxplot(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Deckungsgrad,main="Oberflae-  
chentemperatur vs. Deckungsgrad", ylab="Oberflaechentemp.",xlab="Deckungsgrad")
```

```
boxplot(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Deckungsgrad)
boxplot(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Deckungsgrad,main="Oberflae-
chentemperatur und Deckungsgrad", ylab="Oberflaechentemperatur",xlab="Deckungsgrad")

plot(Draufbereich$Oberflaechetemperatur~Draufbereich$Deckungsgrad,main="Oberflae-
chentemperatur und Deckungsgrad", ylab="Oberflaechentemperatur",xlab="Deckungsgrad")
```

## Anhang G

### Erklärung betreffend Selbstständiger Verfassung einer BA

**Beispiel: Bachelorarbeit (gilt für alle studentischen Arbeiten)**

**Erklärung betreffend das selbstständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management**

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

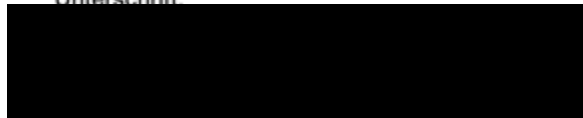
Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Unterschrift:

Interfaz, 13.01.21



## Poster

Bachelorarbeit  
im Fach Biologie

**zhaw** Life Sciences und Facility Management

# Resiliente heimische krautige Baumscheibenunterpflanzungen im urbanen Raum

## Einführung

Die gängige Praxis bei der Erhaltung der Baumtätigkeit beschränkt sich in erster Linie auf den Baum selbst. Der Standort ist dabei oftmals sekundär, muss an viele andere Planungsbedingungen angepasst werden und wird oft erst in Betracht gezogen, wenn deutliche Vitalitätsverluste am Baum sichtbar sind.

Damit der Baum sich in der Stadt optimal entwickeln kann, ist eine Minimierung von Stressfaktoren wie Wasserhaushalt, Hitze und Bodenverdichtung entscheidend.

Mit heimischen, resilienten, krautigen Pflanzen könnten diese Stressfaktoren reduziert werden. Diese Pflanzen können neben gestalterisch-dekorativen auch ökologische und ingenieurbiologische Funktionen erfüllen. Sie zeigen die Bodenvitalität in der Stadt, minimieren die Feinstaub- und Pollenbelastung und verbessern das Mikroklima. Eine weitere Möglichkeit, Stressfaktoren zu mindern, besteht darin, eine mineralische Mulchschicht als Draufreich auszubringen und diese mit Steinen zu bedecken. So geschehen in der Langensteinstrasse in Zürich. Die Mulchschicht hat dabei die Funktion, die Bodenverdichtung zu mindern und die Wasserrückhaltefähigkeit zu optimieren. Die Vegetation soll den Wasser- und Wärmehaushalt stabilisieren und die Oberflächentemperatur reduzieren.

Dazu wurden 4 Baumscheiben untersucht, 2 mit mineralischer Mulchschicht, 2 ohne mineralische Mulchschicht.

## Forschungsfrage

- Gibt es in Zürcher Baumscheiben in 30 cm Tiefe eine unterschiedliche Temperaturentwicklung zwischen den Baumscheiben mit mineralischer Mulchschicht und ohne Gitterabdeckung und den Baumscheiben ohne mineralische Mulchschicht und mit Gitterabdeckung?
- Gibt es eine unterschiedliche Temperaturentwicklung des Draufereichs zwischen den Baumscheiben mit mineralischer Mulchschicht und ohne Gitterabdeckung und den Baumscheiben ohne mineralische Mulchschicht und mit Gitterabdeckung?
- Hat der Deckungsgrad der Vegetation einen Einfluss auf die Bodentemperatur in 30 cm Tiefe und auf die Oberflächentemperatur des Draufbereichs?
- Gibt es einen Unterschied in der Vegetationsentwicklung im Zürcher Baumscheiben mit mineralischer Mulchschicht und ohne mineralische Mulchschicht?

## Theoretie

Die Wasserkapazität des Bodens hängt stark von dessen Wassergehalt ab und erfolgt in humiden Böden wesentlich durch den Diffusionsvorgang. Böden mit einem Wassergehalt von mehr als 15% erhitzen weniger schnell als trockene Böden.

Der Einfluss der Vegetationsdecke auf den Wärmehaushalt des Bodens beruht im Vergleich von Temperaturschwankungen, in der Absenkung der Verdunstung von Wasser und fühlbaren und latenten (Luftfeuchtigkeit) (Isolationseffekt).

- Die Globalstrahlung und deren Einfluss auf den Boden variiert und hängt ab von der Beschaffenheit der Pflanzendecke und den meteorologischen Bedingungen. Je länger auf trach liegenden Böden rund 50 % der Globalstrahlung in den Boden, während es bei einer Weisse nur 20 % und bei Moosschicht gerade noch 5 % sind.
- Bei mittelwüchsigen Gehäusen scheint zu Beginn und am Ende der Wachstumsperiode, die Bodentemperatur der wichtigste Faktor für das Wurzelwachstum zu sein. Dazu liegen aber aufgrund der schlechten Methode nur sehr wenige Untersuchungen vor. Jede Pflanze hat jedoch einen bestimmten Punkt, an dem die Wachstumsrate der Wurzeln stark eingeschränkt wird. Dieser liegt je nach Pflanze und Literatur bei 36 °C.

Umgebungstemperaturen von mehr als 35 - 50 °C führen zur verminderten Stoffwechselprozessen, beeinträchtigen die Photosynthese, führen zu einer Mangerversorgung und zur Verstopfung des Bodens.

Bodenverdichtung reduziert das Infiltrationsvermögen des Bodens, steigert den Anteil an Totwasser, was wiederum die Bodentemperatur senkt. Weiter steigt der CO<sub>2</sub>-Gehalt und die chemische Umgebung von organischen Resten durch Bodenlebewesen wird verändert.

## Methode

Die Datenerhebung für die Bodentemperatur erfolgt in einem Feldversuch mit einem analogen Bodenthermometer in 30cm Tiefe. Eine Stunde vor und nach dem solaren Mittag sind an 6 verschiedenen Punkten in der Baumscheibe die Temperatur über 5 Minuten pro Punkt gemessen. Gemessen wurde nur an Tagen, an denen weniger als dreissig Regen aufweisen. Gemessen wurde vom 16. Juni 2020 bis 10.09.2020.

- Neben den Bodentemperaturen wurden auch der Deckungsgrad, die Regennmenge, Befeuchtung, Lufttemperatur und Globaleinstrahlung
- Mit einer Wärmebildkamera wurde die Oberflächentemperatur des Draufbereichs ermittelt
- Die Auswertung erfolgte mit dem OpenSourceprogramm R-Studio

## Diskussion

- Der Baumscheibentyp hat einen Einfluss auf die Bodentemperatur
- Die Vegetation beeinflusst die Bodentemperatur, der Wasserhaushalt spielt auch eine wichtige Rolle
- Der Standort einer Baumscheibe hat ebenso eine Auswirkung auf die Bodentemperatur
- Ob es Unterschiede in der Vegetationsentwicklung in den einzelnen Baumscheibentypen gibt, konnte nicht abschliessend geklärt werden
- Die Oberflächentemperatur unterscheidet sich zwar statistisch, sind aber für die Praxis zu vernachlässigen. Die Grösse der vegetationsfreien Flächen wurden nicht in die Analyse mit einbezogen, könnten aber entscheidend sein wie stark die Oberflächentemperatur auf den Baum einwirkt

## Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt, dass es deutliche Unterschiede in der Bodentemperatur der Baumscheibentypen gibt. Der Unterschied beträgt im Mittel 2,3 °C. Zwischen der wärmeren Baumscheibe und kühleren besteht ein Unterschied von 5,86 °C. Dies zeigt Abbildung 2.

Abbildung 1 Unterschied der Bodentemperatur nach BS-Typ

Abbildung 2 zeigt die unterschiedlichen Temperaturbereiche der einzelnen Baumscheiben

- Der Einfluss des Deckungsgrades auf die Bodentemperatur ist statistisch signifikant. Die Korrelationen nach Pearson sind aber nur schwach bis leicht ausgeprägt
- Der Einfluss der Lufttemperatur und der Regenmenge ist statistisch signifikant und stärker ausgeprägt als beim Deckungsgrad
- Die Globalstrahlung und die Bewölkung haben einen deutlich geringeren Zusammenhang als jeder der Lufttemperatur und Regenmenge

Abbildung 3 Bereich der Messung des Deckungsgrades nach Baumscheibentyp

- Der Unterschied in der Vegetationsentwicklung ist statistisch signifikant und die Mediane unterscheiden sich in den jeweiligen Baumscheibentypen stark. Dies verdeutlicht Abbildung 3

- Die Oberflächentemperaturen in den einzelnen Baumscheibentypen unterscheiden sich statistisch signifikant voneinander. Wie die Abbildung 4 zeigt, ist der Temperaturunterschied jedoch nur wenige zehnte Grad

Abbildung 4 Oberflächentemperaturen der einzelnen Baumscheiben

Abbildung 5 Oberflächentemperaturen der Baumscheibentypen

- Wie Abbildung 5 zeigt, weist die Baumscheibe Nr. 10 mit 64 °C die höchste Temperatur auf. Die Baumscheibe Nr. 12 hat die zweithöchste Oberflächentemperatur, während Baumscheibe Nr. 8 und 13 ähnliche Werte haben.

## Schlussfolgerung

- Standort, Wasserhaushalt und wo die Pflanzen in der Baumscheibe gepflanzt werden, haben einen grossen Einfluss auf die Boden- und Oberflächentemperatur
- Wichtig ist eine gute Wasserrückhaltefähigkeit des Draufbereichs und des Regenwassers gleichmässig und gut in die Baumscheibe lassen kann
- Eine schnell schliessende Vegetation könnte schneller einen positiven Effekt auf die Boden- und Oberflächentemperatur haben
- Bei der Planung einer Baumscheibeunterpflanzung ist es wichtig, dass hochwachsende Arten am Stamm gepflanzt werden
- Baumarten sollte an den Standort und den dort vorhandenen Wärmehaushalt des Bodens angepasst werden

## Quellen

Baumgarten, J.: 1980, 'Baumgarten und Baumpflanzung', 2te Aufl., Bauverlag, Wiesbaden.  
Bräuer, C.: 2010, 'Baumgarten und Baumpflanzung', 1te Aufl., Bauverlag, Wiesbaden.  
Bräuer, C.: 2011, 'Baumgarten und Baumpflanzung', 2te Aufl., Bauverlag, Wiesbaden.  
Bräuer, C.: 2012, 'Baumgarten und Baumpflanz